

Tommi Karonen

EPÄSYMMETRISEN
KUORMITUKSEN JA YLIAALTOJEN
MITTAUKSET

Mikkelin ammattikorkeakoulun
rakennuksissa

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä	
Tekijä(t) Tommi Karonen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikka	
Nimeke Epäsymmetrisen kuormituksen ja yliaaltojen mittaukset Mikkelin ammattikorkeakoulussa			
Tiivistelmä <p>Työn aiheena on epäsymmetrisen kuormituksen ja yliaaltojen mittaukset Mikkelin ammattikorkeakoulun rakennuksissa. Mittaukset tein Sähköpääkeskuksella, josta lähti syöttö kaapelit rakennuksille. Sähköpääkeskus sijaitsee E-rakennuksen alakerrassa.</p> <p>Epäsymmetrinen kuormitus tarkoittaa vaiheiden epätasaista kuormitusta eli jollain vaiheella menee enemmän virtaa kuin muilla. SFS EN 50160 standardissa määritellään suurimmaksi vinokuormitus suositukseksi $\pm 10 \%$ vaihevirtojen keskiarvosta. Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa 3. yliaaltoja ja virtaa nollajohtimeen. Epäsymmetristä kuormitusta voidaan poistaa tasaamalla vaiheiden kuormitusta. Yliaallot ovat nykyään lisääntyvän tehoelektroniikan ikävä sivutuote. Yliaallot ovat verkkotaajuuden moninkertoja (3. yliaalto 150 Hz, 5. yliaalto 250 Hz jne). Yleisin yliaalto on 3. yliaalto. Yliaaltoja aiheuttavat mm. tietokoneet, purkauslamput, taajuusmuuntajat ja suuntaajat. Yliaaltojen suurimmat haittavaikutukset ovat muuntajien ja kaapeleiden pienentynyt kuormitettavuus, häiriöt telekaapeleissa, nollajohtimen virrallisuus sekä kompensatiokondensaattoreiden ylikuormittuminen. Yliaaltoja voidaan poistaa erilaisilla suodattimilla ja imupiireillä.</p> <p>Tavoitteena on selvittää, minkälaisia epäsymmetrisiä kuormituksia ja yliaaltoja rakennuksien keskuksissa on, kuinka suuria ne ovat, mitä haittoja ne voivat aiheuttaa ja miten niitä voidaan mahdollisesti poistaa tai vähentää.</p> <p>Itse työ koostuu kolmesta osasta. Aluksi kerron teoriaa epäsymmetrisestä kuormituksesta ja yliaalloista sekä niiden vähentämistavoista ja mittauslaitteesta sekä mittauskohteista. Toisessa osassa ovat mittauksien tulokset. Tässä osassa kerron mittauksista sekä esitän niitä kuvin. Viimeinen osa on pohdinta, jossa käyn lävitse mittauksista, pohdin pääsinkö tavoitteisiini sekä esitän mahdollisia korjaus toimia, mikäli ne ovat tarpeen.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Epäsymmetrinen kuormitus, yliaallot, jännitesärö, verkkoanalysointilaite			
Sivumäärä 30 + liitteet 11	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 	
Author(s) Tommi Karonen		Degree programme and option Electrical engineering	
Name of the bachelor's thesis Asymmetrical loads and harmonics measurements in the buildings of Mikkeli University of Applied Sciences			
Abstract <p>The objective in this work was to figure out if there are any asymmetrical loads and harmonics in the buildings of Mikkeli University of Applied Sciences, how big are the values, what disadvantages they cause and how they can be decreased.</p> <p>The work itself consists of three parts. First part is about asymmetrical loads and harmonics theory and how to neutralise them and also about the measurements and the measuring points. Asymmetrical loads can be neutralised by evening out the phases. Harmonics can be neutralised by installing different kinds of filters. Second part consists of the measuring results. In this part I analyse the results and present them with pictures. The last part consists of the results and evaluation.</p> <p>From the results I found that there were asymmetrical loads and harmonics in the buildings of Mikkeli University of Applied Sciences. The results were variable, some buildings had more than others. In few buildings asymmetrical loads were over the recommendation limits but in most of the buildings the asymmetrical loads remained within the limits. There were also harmonics, but the results were difficult to interpret. Either there were a huge amount of harmonics or there were an error in the measurements. Voltage distortion was under 3 percent in all the buildings, what means that the quality of voltage was good.</p>			
Subject headings, (keywords) Asymmetrical load, harmonics, voltage distortion, network analyzer			
Pages 30 + appendices 11	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices 			
Tutor Arto Kohvakka		Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TARKOITUS JA TAVOITTEET	2
2.1	Tarkoitus	2
2.2	Tavoitteet	2
3	EPÄSYMMETRINEN KUORMITUS JA YLIAALLOT.....	2
3.1	Epäsymmetrinen kuormitus	2
3.2	Yliaallot	3
4	MITTAUKSET	6
4.1	Power Quality Analyser-Plus MI 2292	6
4.2	Mittaukset	7
5	TULOKSET	7
5.1	A-rakennus.....	8
5.1.1	A-rakennuksen LNKIN keskus	8
5.1.2	A-rakennuksen LNKIP keskus.....	10
5.2	C-rakennus	12
5.3	D-rakennus.....	14
5.4	E-rakennus	16
5.4.1	E-rakennuksen ERK 001/ERK 101 keskus.....	17
5.4.2	E-rakennuksen ERK 201/ERK 302 keskus.....	19
5.4.3	E-rakennuksen ERK 401 keskus.....	21
5.4.4	E-rakennuksen ERK 002 keskus.....	22
5.5	Kirjasto	24
5.6	Ruokala	26
5.7	Sähköpääkeskus	27
6	POHDINTA	29
	LÄHTEET	31
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Epäsymmetrinen kuormitus ja yliaallot ovat sähköverkon häiriöitä. Epäsymmetrinen kuormitus tarkoittaa vaiheiden epätasaista kuormitusta. Epätasaista kuormitusta syntyy, kun yksi vaiheisia kuormia kytketään epätasaisesti eri vaiheille. Yleensä L1-vaihe kuormittuu eniten. Epäsymmetrinen kuormitus syntyy yleensä sähköön kuluttajilta. Epäsymmetrinen kuormitus on haitallista sähkömoottoreille ja muuntajille. Se aiheuttaa virtaa nollajohtimeen ja voi siirtyä sähkönjakeluverkkoon ja sitä kautta muihin kulutuspisteisiin. Verkossa esiintyy yliaaltoja, jotka ovat vaihtosähköön taajuuden (50 Hz) monikertoja. Yliaallot ovat sähkön laatua huomattavasti huonontava tekijä. Yliaaltoja synnyttävät virran tai jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat, joiden ottama virta on epäsinimuotoista. Myös epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa yliaaltoja. Yliaallot aiheuttavat virtaa nollajohtimeen ja säröyttävät jännitteen sinimuotoa. Ne aiheuttavat myös ongelmia laitteissa, jotka vaativat korkealaatuista jännitettä. Jännitteen käyrämuodon säröytyminen aiheuttaa myös sulakkeiden toiminta häiriöitä ja johtimien kuumentumista. (Kontturi & Ålander 2008.)

Opinnäytetyössäni aiheena on epäsymmetrinen kuormitus (eli vinokuormitus) ja yliaallot Mikkelin ammattikorkeakoulun ruokalassa sekä A-, B-, C-, D- ja E-rakennuksissa. Tarkastelen E- rakennuksen alakerrassa sijaitsevaa sähköpääkeskusta, josta lähtevät edellä mainittujen rakennusten sähköjen syöttökaapelit. Mittaukset suoritan tästä keskuksesta. Mittauksissa käytän Power Quality Analyser-Plus MI 2292-verkkoanalysaattoria.

Opinnäytetyössä tarkoituksena on tutkia, kuinka paljon epäsymmetristä kuormitusta ja yliaaltoja koulun rakennuksien syötöissä on. Mitä mahdollisia haittavaikutuksia näillä häiriöillä on rakennuksissa sijaitseville sähkölaitteille. Miten epäsymmetristä kuormitusta voi tasata ja yliaaltojen määrää pienentää. Tavoitteenani on oppia ymmärtämään näitä sähköverkonhäiriöitä ja tuoda tietoa niistä enemmän esille.

Idea työhön sai alkunsa, kun huomasin laboraatiotyön ohella, että epäsymmetristä kuormitusta esiintyy koulun sähköpääkeskuksessa eikä asiasta ole vielä aikaisemmin tehty tutkimusta. Myöskään yliaaltoja ei ole tutkittu kyseisistä rakennuksista.

2 TARKOITUS JA TAVOITTEET

2.1 Tarkoitus

Tarkoituksena on selvittää mittaamalla Mikkelin ammattikorkeakoulun ruokalan, kirjaston, ympäristölaboraatio, A-, C-, D- ja E-rakennuksen syöttökaapelit sekä näitä rakennuksia syöttävän sähköpääkeskuksen syöttökaapeli. Mittauksiin kuuluvat virrat, jännitteet, tehot, energiat ja yliaallot, joita näiden rakennuksien syöttökaapeleissa on.

2.2 Tavoitteet

Tavoitteena on saada selville Mikkelin ammattikorkeakoulun rakennusten syöttöjen kuormitukset ja mahdolliset sähköhäiriöt, joita ovat vinokuormitus, yliaallot sekä yliaalloista aiheutuvat jännitesäröt. Yliaalloista huomioon kolmannen, viidennen ja yhdenkymmenennen yliaallot. Lisäksi tavoitteena on esittää mahdollisia häiriöiden poistamisvaihtoehtoja. Haluan oppia käyttämään paremmin verkkoanalysaattoria ja tulkitsemaan sen antamia mittaustuloksia. Haluan tietää kyseisten rakennuksien sähkön tarpeesta ja kuormituksista.

3 EPÄSYMMETRINEN KUORMITUS JA YLIAALLOT

3.1 Epäsymmetrinen kuormitus

Epäsymmetrinen kuormitus, eli vinokuormitus, tarkoittaa vaiheiden epätasaista kuormitusta. Yksivaiheisia kuormia on kytketty epätasaisesti eri vaiheiden kesken. Yleensä L1-vaihe kuormittuu eniten. Epäsymmetrinen kuormitus voi johtua myös yhden vaiheen palaneesta sulakkeesta tai kompensointiparistosta. (TTT-käsikirja, 5.) SFS-EN 50160 standardissa määritellään suurimmaksi sallituksi vinokuormitus suositukseksi $\pm 10 \%$ vaiheiden kesken. Tarkoittaen, että kunkin vaiheen virta saa poiketa enintään 10% vaiheiden virtojen keskiarvosta. (ST 52.51.04 2006, 1.)

Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa jännite-epäsymmetriaa, virtaa nollajohtimeen ja kolmansia yliaaltoja. Liian suuri virta nollajohtimessa voi aiheuttaa nollajohtimen lämpenemistä, eristeiden sulamista ja tulipalovaaran, varsinkin jos nollajohdin on mitoitettu vaihdejohtimia pienemmäksi. (Kontturi & Ålander 2008.)

Epäsymmetrinen kuormitus on haitallista moottoreille, muuntajille ja elektronisille laitteille, kuten tietokoneille. Sähkömoottoreiden roottorihäviöt voivat suurentua ja momentti pienentyä sekä elinikä pienentyä epäsymmetrisen kuormituksen takia. (Federley 2009, 13.) Muuntajiin epäsymmetrinen kuormitus voi aiheuttaa jännite-epäsymmetriaa. Jännite-epäsymmetrian takia kuormituksen virta muuttuu. Tämä aiheuttaa muuntajan sisälle kuumia pisteitä, joiden takia muuntajan elinikä lyhenee. Muuntajan kytkennöistä Yyn-kytkentä on hyvin altis epäsymmetriselle kuormitukselle. (Huurinainen 2006, 40.) Elektroniset laitteet vaativat nykyään korkea laatuista sähköä ja epäsymmetrinen kuormitus voi häiritä niiden toimintaa. (TTT-käsikirja, 5.)

Epäsymmetrinen kuormitus on galvaaninen häiriö. Epäsymmetrinen kuorma on helppo mitata ja sen voi poistaa tasaamalla eri vaiheiden kuormia.

3.2 Yliaallot

Nykyaikana tehoelektroniikan käyttö lisääntyy jatkuvasti. Tehoelektroniikan ikävin sivutuote on yliaallot. Yliaalloiksi kutsutaan kaikkia sähköverkon jännitteitä ja virtoja, joiden taajuus ylittää normaalin verkkotaajuuden (50Hz). (Romo 2004, 7.) Yliaallot ovat verkkotaajuuden monikertoja. Kolmannen yliaallon taajuus on 150Hz, viidennen yliaallon taajuus 250Hz ja niin edelleen. Yleisimpiä yliaalloista ovat kolmas, viides, seitsemäs ja yhdestoista yliaalto. Kolmas yliaalto aiheuttaa virtaa nollajohtimeen. Yleensä virran yliaallot ovat selvästi merkittävämpiä kuin jännitteen yliaallot. (Kontturi & Ålander 2008, 11.)

Yliaaltoja synnyttävät epälineaariset kuormitukset ja kuormitukset, jotka ottavat verkosta epäsinimuotoista virtaa. Yleisesti ajateltuna yksivaiheiset kuormat synnyttävät kolmatta yliaaltoja ja kolmivaiheiset kuormat muita yliaaltoja. (ABB 1999.) Yliaaltoja aiheuttavat muun muassa PC:t, tasasuuntaajat, hakkuriteholähteet, taajuusmuuntajat ja purkauslamput (esimerkiksi energiansäästölamput). Yliaaltovirran

suuruus on riippuvainen kuormituksesta sekä verkon impedanssista kyseessä olevalla taajuudella. Myös vääränlainen loistehon kompensointi voi vahvistaa yliaaltoja. Tämä johtuu siitä, että yliaallot voivat resonoida kompensointiparistojen kanssa. (Kontturi & Ålander 2008.) Pulssisuuntaajien aiheuttamat yliaallot voidaan laskea kaavalla $n = p * k \pm 1$, jossa p on sykeluku ja k on kokonaisluku (0,1,2,3...). Kaavan mukaan 6-pulssisuuntaaja aiheuttaa muun muassa viidettä, seitsemättä ja 11:toista yliaaltoja ($n = 6 * 0 \pm 1 = 1$, $n = 6 * 1 \pm 1 = 5$ ja 7 , $n = 6 * 2 \pm 1 = 11$ ja 13 jne..).

Yliaaltojen suurimmat haittavaikutukset ovat:

1. Verkon nollajohdin on virrallinen symmetriselläkin kuormituksella.
2. Yliaaltoiset magneettikentät aiheuttavat häiriöitä telekaapeleihin.
3. Muuntajien kuormitettavuus pienenee.
4. Yliaaltoherkät laitteet voivat toimia virheellisesti (suuntaajat).
5. PC-näyttöruutujen kuva värisee.
6. Kompensointikondensaattorit voivat ylikuormittaa yliaaltovirroista.

Nollajohtimen yliaaltainen paluuvirta pienentää kaapeleiden kuormitettavuutta ja kasvattaa niiden teho- ja energiahäviöitä. Yliaallot voivat kasvattaa nollajohtimen virran pahimmillaan jopa 2 – 3-kertaiseksi verrattuna vaihejohtimessa kulkevaan virtaan. Tämä voi huonosti mitotetuissa nollajohtimissa aiheuttaa eristeen sulamista ja jopa tulipalovaaran. Muuntajissa yliaallot aiheuttavat häviöitä seuraavasti: virran yliaallot lisäävät pyörrevirtahäviöitä käämityksissä ja rautasydämessä sekä jännitteen yliaallot lisäävät pyörrevirta- ja hystereesihäviöitä rautasydämessä. (Ruppa 2001.)

Yliaaltojen seurauksena sähköverkon jännite voi säröytyä. Virtayliaallot aiheuttavat verkon impedansseissa yliaaltoisia jännitehäviöitä, jotka käytännössä näkyvät jännitteen säröytymisenä. (Ruppa 2001.) Jännitesärö tarkoittaa jännitteen aaltomuodon muuttumista epälineaariseksi. Kuvassa 1 näkyy säröytynyt jännite käyrä. Jännitesärö voi aiheuttaa laitteissa toimintahäiriöitä. Nykyajan laitteet vaativat korkealaatuista jännitettä. Esimerkiksi tietokoneet ovat tällaisia laitteita. Jännitesärö voi aiheuttaa myös johtimien lämpenemistä sekä sulakkeiden ja releiden toimintahäiriöitä. Jännitesärö ilmoitetaan THD-arvona ja se ilmoitetaan prosenttilukuna yliaaltokomponenttien suuruuden suhteessa normaaliin sinimuotoiseen aaltoon. (Kontturi & Ålander 2008.) Sähköverkon jännitteen laadussa, jännitesärön osalta, viittä prosenttia voidaan pitää hyvän ja huonon laadun rajana kun taas korkeaksi laaduksi luokitellaan alle kolmen prosentin arvot.



KUVA 1. Säröytyneen jännitteen käyrämuoto (Kontturi & Ålander 2008).

Yliaaltoja voidaan pienentää ja poistaa erilaisilla suodattimilla ja imupiireillä. Suodattimet voidaan luokitella passiivi- ja aktiivisuodattimiin. Passiivisia suodattimia nimitetään yleisesti imupiireiksi. Imupiirit ovat sarjaresonanssipiirejä, jotka muodostavat tietyn taajuiselle yliaaltovirralla pieni impedanssien sulkeutumistien. Suodatus voidaan tehdä joko keskitetysti tai hajautetusti. Yksinkertaisin suodatin on yhdelle taajuudelle viritetty imupiiri. Suodattimen resonanssitaajuus f_r pyritään mitoittamaan mahdollisimman lähelle poistettavan yliaallon taajuutta. Kondensaattorin kapasitanssin määrää yleensä tarvittava perustaajuinen kompensointiteho. Kytkeällä monta suodatinta rinnan, voidaan kaikki häiritsevät yliaallot poistaa. Tällainen ratkaisu on yleensä liian kallis. Kaksoisviritetyllä suodattimella voidaan poistaa kaksi eri yliaaltoa yhtäaikaan. Perustaajuiset häviöt ovat pienemmät kuin kahta erillistä suodatinta käytettäessä. Laajakaistaisia suodattimia on useaa eri tyyppiä. Periaatteeltaan ne ovat ylipäästösuoattimia ja niillä voidaan vähentää kaikkia tiettyä taajuutta suurempia yliaaltotaajuuksia. Aktiivisuodatin on tehopuolijohteilla toteutettu säädettävä yliaaltovirtalähde. Se syöttää verkkoon yliaaltoja, jotka ovat vastakkaisessa vaiheessa verkon yliaaltoihin nähden, jolloin ne kumoavat toisensa. Aktiivisuodattimen etuja perinteisiin Lc-suodattimiin verrattuna ovat:

- Taajuudeltaan ja suuruudeltaan muuttuvien yliaaltojen suodatus on tehokasta
- Yhdellä suodattimella voidaan suodattaa useita yliaaltoja
- Nopea vaste ja pieni tilantarve

Suodattimet ovat joko jännite- tai virtavälipiirillisiä. Yleensä ne kytketään kuorman rinnalle. Laitteisiin voidaan myös hankkia laitekohtaisia yliaaltosuodattimia. Resonointi loistehon kompensoinnin kanssa voidaan ehkäistä estokelaparistoilla ja

yliaaltosuodattimilla. Yliaaltoja suodattamalla saadaan siis parempi laatuista jännitettä ja poistetaan häiriöitä. (Korpinen.)

4 MITTAUKSET

4.1 Power Quality Analyser-Plus MI 2292

Mittauksissa käytin Metrel Power Quality Analyser-Plus MI 2292- verkko analysaattoria. Metrellillä voidaan analysoida ja mitata verkkohäiriötyyppejä. (Romo 2004, 22.)

Mittari toimii verkkovirralla tai sisäisillä akuilla. Mittari sisältää neljä 1,2 voltin akkua. Akuilla mittari toimii noin viisi tuntia. Mittariin tallentunut tieto voidaan siirtää tietokoneelle tiedonsiirto RS232 sarjaliittimen välityksellä ja tiedonsiirto nopeus on 2400 - 57600 bps. Muistia on 2048 kb ja se on akkuvarmennettu. Vakio varusteisiin kuuluu pihtimalliset virtamuuntajat (1000 A/1 V), 6 kpl jännitteen mittaussjohtimia, 4 kpl hauenlaukoja, 3 kpl mittauspäiden kärkiä, verkkovirtajohto, RS232-teidonsiirtojohto, kantolaukku, käyttöohjeet ja käsikirjat. Myös Powerlink-niminen PC- ohjelmisto kuuluu varusteisiin. Powerlink- ohjelmaa voidaan käyttää mittaustulosten analysointiin ja hallintaan. (Metrel, 7 - 12.)

Mittarin yleistöimminnot käyttöohjeen mukaan ovat mitattavat jännite, virta, tehot (W, kvar, VA), tehokerroin, energia, oskilloskooppi, harmoniset, tilastanalyysi, välkyntä ja jännitepoikkeamat. Nämä ovat mitattavissa ja tallennettavissa tallennustiloihin. Laite laskee automaattisesti tallennettujen arvojen maksimi-, minimi- ja keskiarvot. (Metrel, 3-20.)

Mittaria voidaan käyttää yksikön omilla ohjaimilla ja nestekidenäytöllä tai tietokoneen avulla. Laitteen käytön perustana on kiertokytkin. Kiertokytkimessä on kuusi eri toimintoasentoa, jotka ovat Scope (oskilloskooppi), Meter (yleismittaukset), Spectrum (harmoniset mittaukset), Energy (energiat), Record (tallennus ja Config (asetukset). Metrel voidaan kytkeä kolmivaihe sähköjärjestelmään kolmella eri tavalla: nelijohdinkytkentä, kolmijohdinkytkentä ja Aaron-kytkentä. Nelijohdinkytkentää käytetään silloin kun mitataan kaikkien vaiheiden jännitteet ja virrat sekä jännitteiden

vaiheiden ja nollan suhteen. Kolmijohdinkytkentää käytetään, silloin kun mitataan kolmivaihejärjestelmän suureita ilman nollajohdinta. Aaron-kytkennällä mitataan kahta vaihetta. Tällöin käytetään virtamuuntajaa ja kahta jännitteen mittaajajohdinta. (Metrel, 3-38.)

4.2 Mittaukset

Mittaukset tein siis Metrel Power Quality Analyser-Plus MI 2292-verkkoanalysointilaitteella. Mittasin Mikkelin ammattikorkeakoulun rakennuksien syöttöjä. Mittari mittasi arvot viidentoista minuutin välein. Mittaukset tapahtuivat 21.1 - 13.2.2010 välisenä aikana. Mitatut rakennukset olivat ruokala, kirjasto ja ympäristölaboratorio, A-, C-, D- sekä E-rakennus. Kirjasto ja ympäristölaboratorio olivat saman syötön takana. Mittasin myös muuntajalta sähköpääkeskukselle tulevan syötön, josta sain mitattua kaikkien edellä mainittujen rakennusten yhteisen kuormituksen. Koulun rakennusten syötöt lähtivät E-rakennuksen alakerrasta sijaitsevasta sähköpääkeskuksesta.

A-rakennukseen syöttöjä meni kahdelle eri keskukselle. Toinen oli tarkoitettu niin sanotulle ”konttori” sähköille, eli se syötti luokkien, toimistojen, aulan ja auditorion sähköpisteitä. Toinen syöttö oli taas tarkoitettu niin sanotulle ”teollisuus” sähköille, eli se syötti A-rakennuksen laboratorioluokkien, konepajan sekä ilmastoinnin laitteita ja koneita. E-rakennukseen sähköpääkeskuksesta lähti syötöt viidelle eri keskukselle. Kaksi näistä syötöistä meni yläkerran ja alakerran ilmastointi ja ilmanvaihtokoneille. Yksi syötöistä meni keskukselle, joka syötti alakerran ja ensimmäisen kerroksen sähköpisteitä. Yksi meni keskukselle, joka syötti toisen ja kolmannen kerroksen sähköpisteitä. Viides syötöistä meni ylimmän kerroksen keskukseseen, joka syötti studioluokkaa. Yläkertaan oli joskus tarkoitus rakentaa suurempi studioluokka ja sen takia sille on varattu oma keskus ja syöttö. Koska suurempi studio jäi rakentamatta, keskuksen kuormitus on pieni, jonain päivinä jopa nolla.

5 TULOKSET

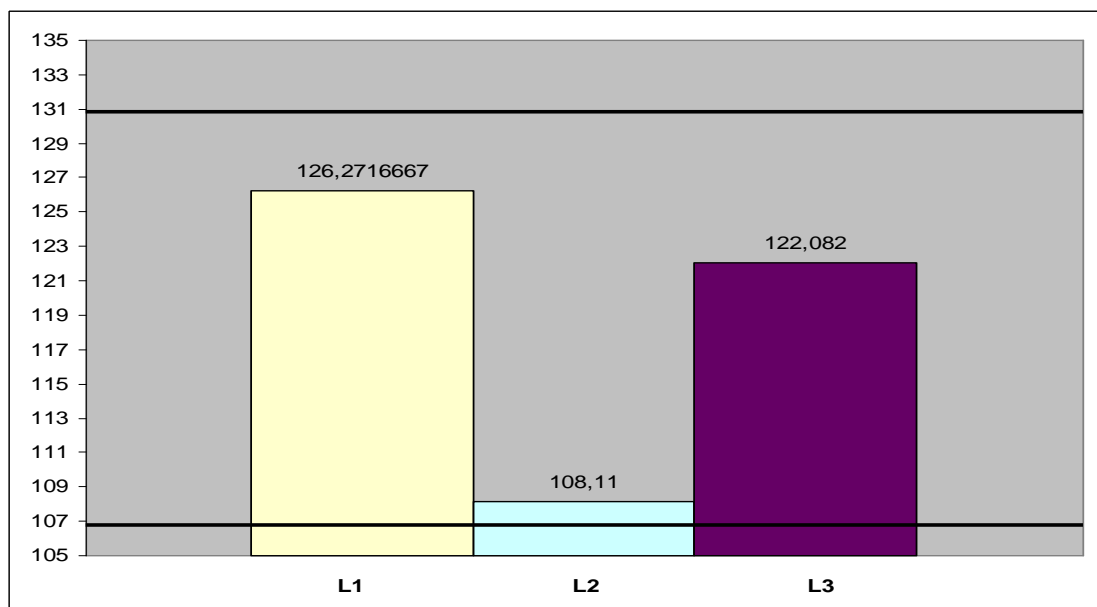
5.1 A-rakennus

A-rakennukseen pääkeskukselta lähti syötöt kahdelle keskukselle: LNKIN ja LNKIP. Kummallekin keskukselle meni tupla syötöt AMCMK 3*120+70/41 kaapeleilla. LNKIN keskus oli niin sanottuja ”konttori” laitteita varten ja LNKIP keskus niin sanottuja ”teollisuus” laitteita varten. LNKIN keskukselta sai sähkönsä A-rakennuksen toimistot, luokat, aula, valaistus ja auditorio. LNKIP keskukselta sähkönsä sai A-rakennuksessa sijaitsevat laboratorioluokissa olevat laitteet ja ulkona olevat lämmitystolpat.

5.1.1 A-rakennuksen LNKIN keskus

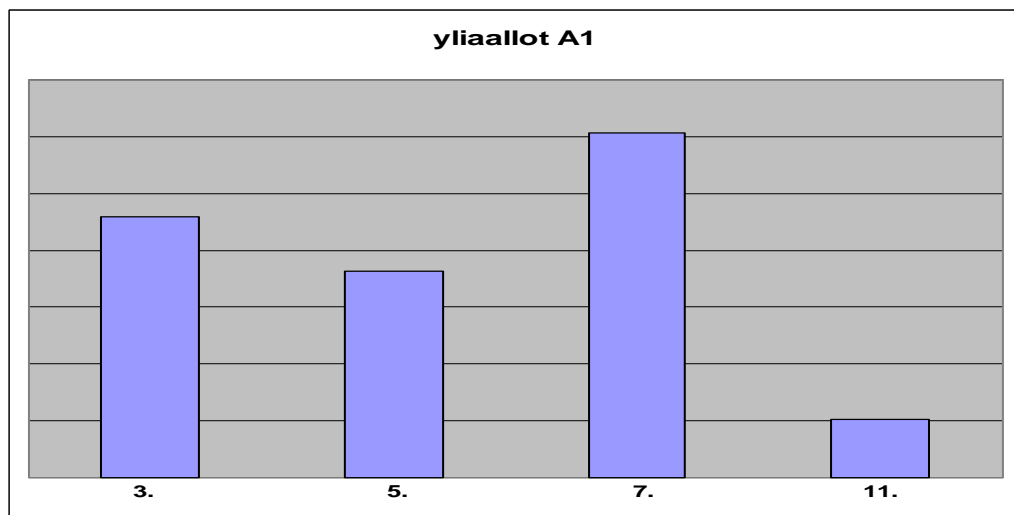
A-rakennuksen LNKIN keskuksen mittaukset tein 27.01.2010 kello 6.57 – 14.12. Tuona aikana LNKIN keskuksen sähkön kulutus oli 573,80 kWh. Teho oli keskimäärin 76,50 kW. Suurimmillaan teho oli 83,86 kW (klo 11.17) ja pienimmillään 46,49 kW (klo 6.57).

LNKIN keskuksella on vinokuormitusta, kuten kuvasta 2 näkyy. Kuvassa 2 on jokaisen vaiheen keskimääräinen virta mittausajalta. Suurin kuormitus on 1. vaiheella ja pienin 2. vaiheella. 1. ja 2. vaiheen virrat eroavat toisistaan noin 18,16 ampeeria. Vaihevirtojen keskiarvo on 118,82 A, josta 10 % raja on laskettu. Kuvassa 2 näkyy myös 10 % suositusrajat vinokuormitukselle. Virta ovat rajojen sisäpuolella, joten kuormitusta ei välttämättä tarvitse tasoittaa.



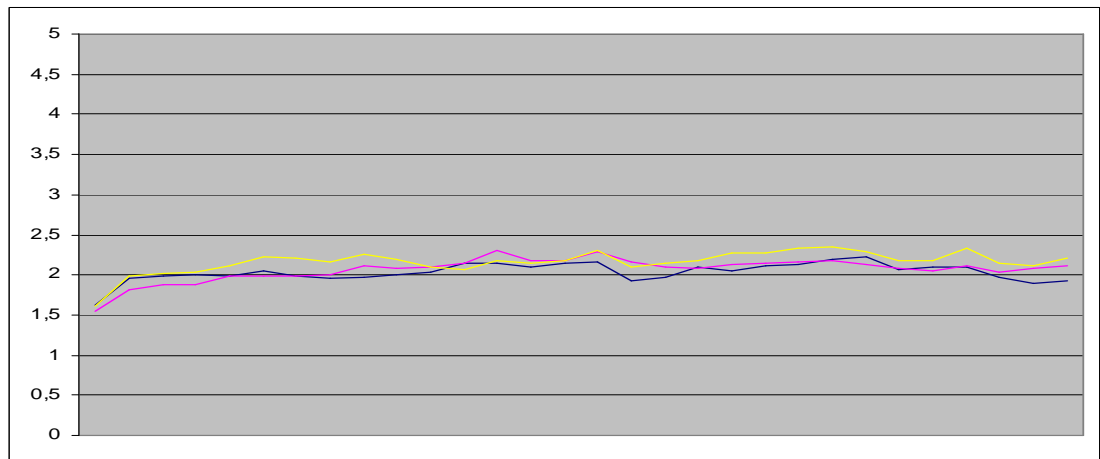
KUVA 2. A-rakennuksen LNKIN keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kuvassa 3 on LNKIN keskuksen yliaaltovirtojen jakauma, joka koostuu jokaisen vaiheen yliaaltojen keskiarvoista. Jokaisella vaiheella oli eniten 7. yliaaltoja. Kolmatta yliaaltoa oli eniten 1. vaiheella, jolla oli eniten kuormitustakin (katso liite 1). LNKIN keskuksella oli eniten 7. yliaaltoa, jota tulee luultavasti muun muassa ilmastoinnin puhaltimien taajuusmuuntajista ja auditorion laitteista. 7. yliaallon suuruus voi johtua siitä, että se resonoi kompensoinnin kanssa. Kolmatta yliaaltoa tulee eniten luultavasti valaistuksesta (sisältäen mm. läsnäolotunnistimet) ja tietokoneista. Kuten liitteestä 1 näkee, 3. yliaallon huippu on 1. vaiheessa kello 8.00 jälkeen, jolloin oppitunnit ovat alkaneet ja henkilökunta tullut töihin. Yliaaltojaviirtoja on määrällisesti niin paljon, että ne voivat aiheuttaa häiriöitä esimerkiksi telekaapeleissa.



KUVA 3. A-rakennus LNKIN keskuksen yliaallot.

Kuvassa 4 on LNKIN keskuksen jokaisen vaiheen jännitesärö. Standardin mukaan jännite on korkea laatuista, kun jännitesärö on alle 3 %. LNKIN keskuksessa jännitesärö oli korkeimmillaan 2,35 %. Jännitesärö oli keskimäärin hieman yli kaksi prosenttia jokaisella vaiheella, joten jännitteen laatu voitaneen luokitella korkeaksi.



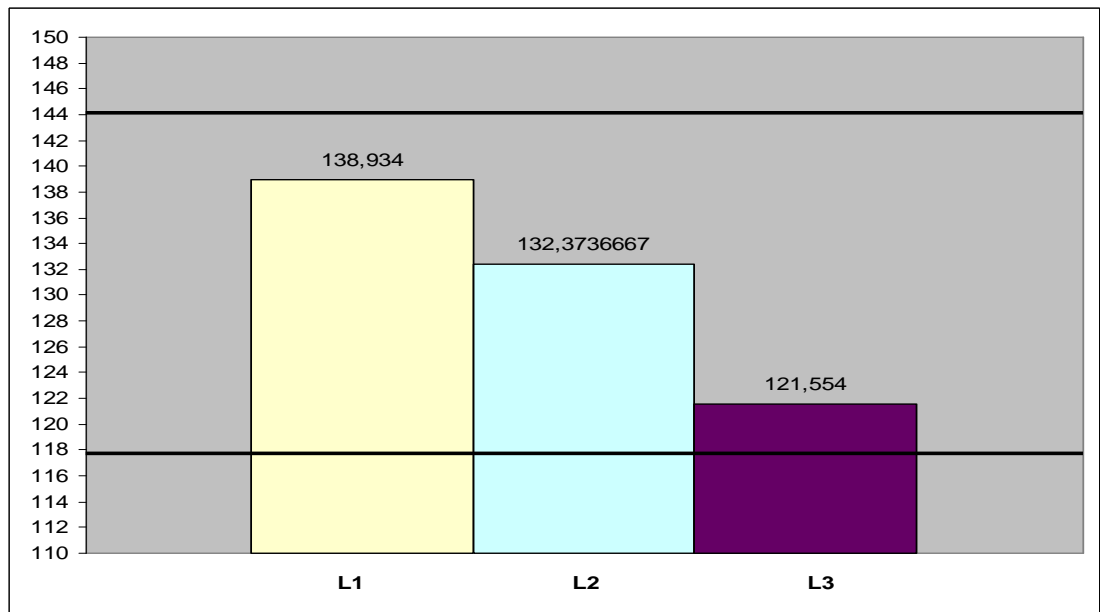
KUVA 4. A-rakennus LNKIN keskuksen jännitesärö.

Nollajohtimen virta oli korkeimmillaan 50,34 ampeeria (klo 9.27, katso liite 1). Mittauksien aikana nollajohtimen virta oli keskimäärin 43,57 ampeeria. Suurin nollajohtimen virta arvo oli samaan aikaan kuin suurin vinokuormitus ja suurin 3. yliaallon arvo. Tämä johtuu siitä, että nämä kummatkin aiheuttavat virtaa nollajohtimeen. Virta nollajohtimessa ei kuitenkaan noussut niin suureksi, että siitä olisi haittaa johtimelle.

5.1.2 A-rakennuksen LNKIP keskus

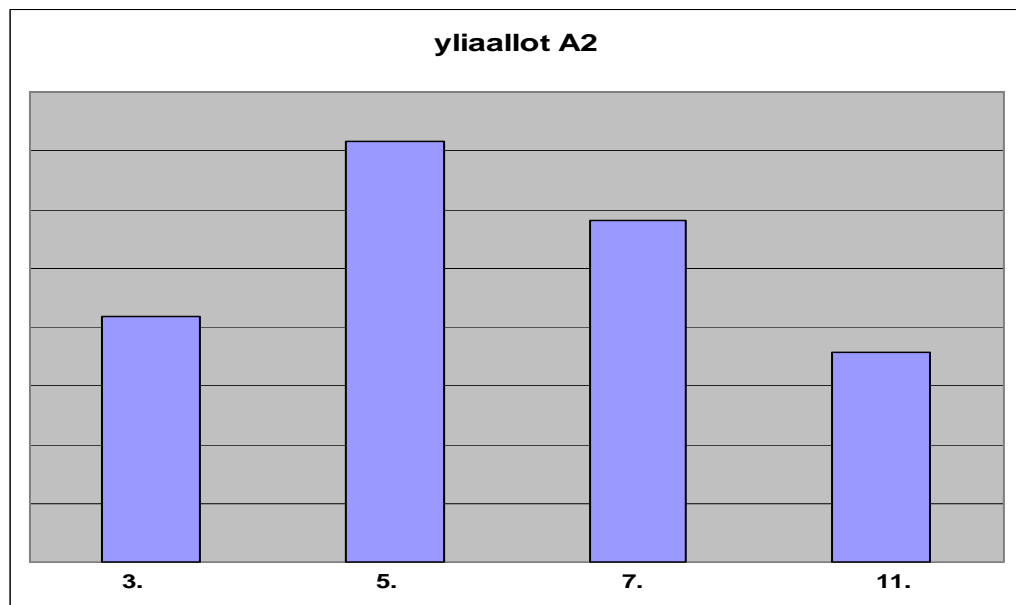
LNKIP keskuksen mittaukset tein 28.01.2010 kello 6.48 – 14.18. Keskuksen sähkön kulutus tuona aikana oli 578,05 kWh ja teho keskimäärin 75,83 kW. Teho oli suurimmillaan 99,21 kW ja pienimmillään 38,78 kW.

LNKIP keskuksessa on vinokuormitusta, mutta se pysyy suositus rajojen sisällä, kuten kuvasta 5 näkee. 1. vaiheella oli eniten kuormitusta, keskimäärin 138,93 A, ja 3. vaiheella vähiten 121,55 A. Keskimäärin LNKIP keskuksessa meni enemmän virtaa kuin LNKIN keskuksessa (katso liite 2). Tämä johtunee laboraatio laitteista sekä ilmastointi laitteista, jotka ovat tämän keskuksen perässä.



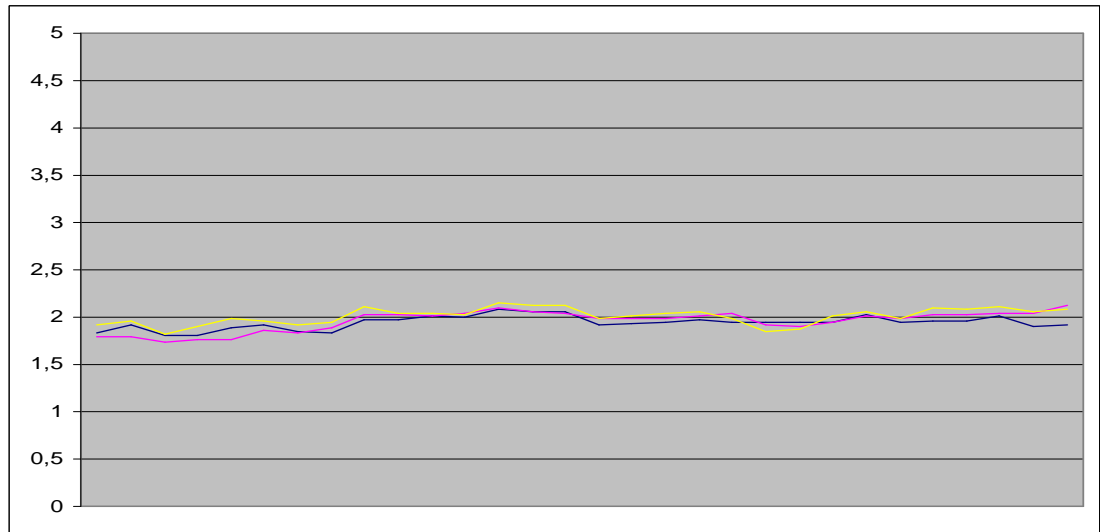
KUVA 5. A-rakennuksen LNKIP keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kuvassa 6 on LNKIP keskuksen yliaaltovirta jakauma. Kuten kuvasta 6 näkee, on 5. ja 7. yliaaltoja enemmän kuin 3. yliaaltoa. Tämä johtunee siitä, että 3-vaihe laitteita on enemmän kuin yksi vaiheisia. Ilmastoinnin puhaltimien taajuusmuuntajat ja laboratorioden 3-vaihe laitteet aiheuttavat viidettä, seitsemättä ja yhdennettätoista yliaaltoja.



KUVA 6. A-rakennuksen LNKIP keskuksen yliaallot.

LNKIP keskuksen jännitesärö oli keskimäärin 2 %, kuten kuvasta 7 näkee. Tämä määrä ei ole juuri haitallista ja standardin mukaan jännitteen laatu jännitesärön osalta voidaan luokitella korkeaksi.



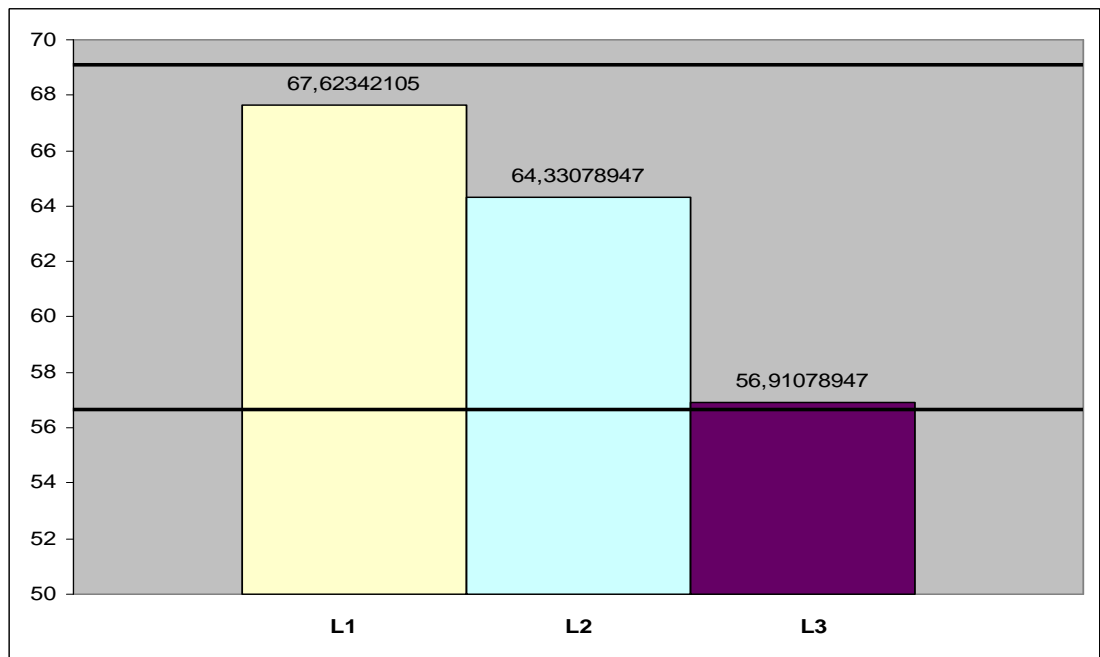
KUVA 7. A-rakennuksen LNKIP keskuksen jännitesärö.

LNKIP nollajohtimen virta oli keskimäärin 27,18 ampeeria. Suurimmillaan se oli 41,49 ampeeria. Nollajohtimen virta johtuneet hetkellisistä suuremmista vinokuormituksista sekä 3. yliaaltovirran suuruudesta.

5.2 C-rakennus

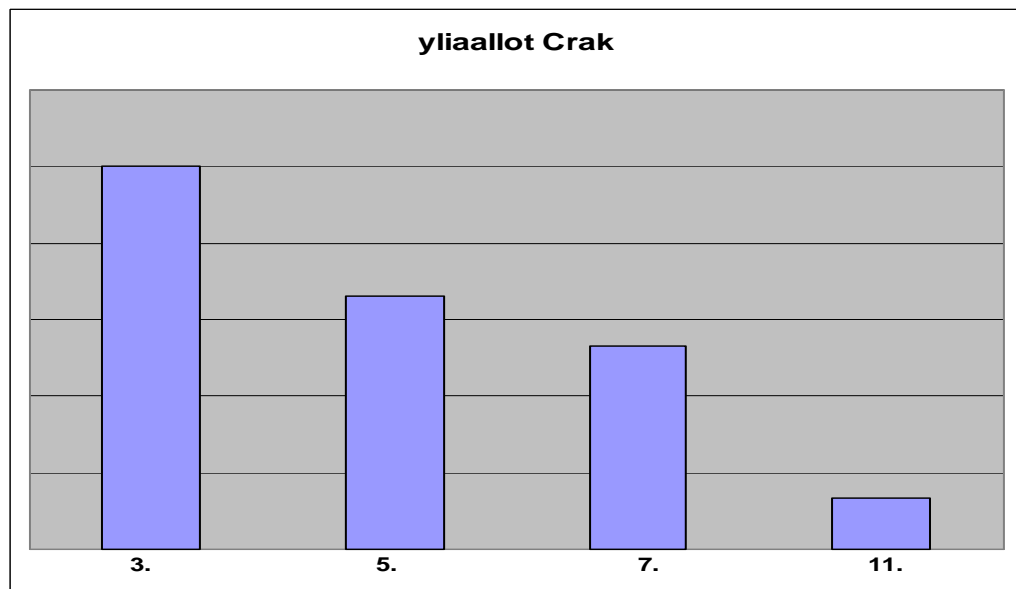
C-rakennukselle pääkeskukselta lähti AMCMK 3*120+70/41 syöttökaapeli. C-rakennuksessa olevan keskuksen nimi on CMK1. Mittaukset CMK1 keskukselle tein 2. – 3.02.2010. Mittaus tulokset otin 3.2.2010 kello 6.56 – 16.11 väliseltä ajalta. Sähkö kulutus tuona aikana oli 382,86 kWh ja keskimääräinen teho 41,39 kW.

Kuvassa 8 näkyy C-rakennuksen jokaisen vaiheen keskimääräinen virta vinokuormituksen suositusrajoineen. Suurin kuormitus on 1. vaiheella (67,62 A) ja pienin 3. vaiheella (56,91 A). Näiden vaiheiden välinen kuormitus ero on 7,71 ampeeria. Kuten kuvassa 8 voi havaita, vinokuormitusta on mutta se pysyy suositusrajojen sisällä eikä kuormitukset ole niin suuria, että korjaukseen tässä asiassa olisi välttämättä syytä.



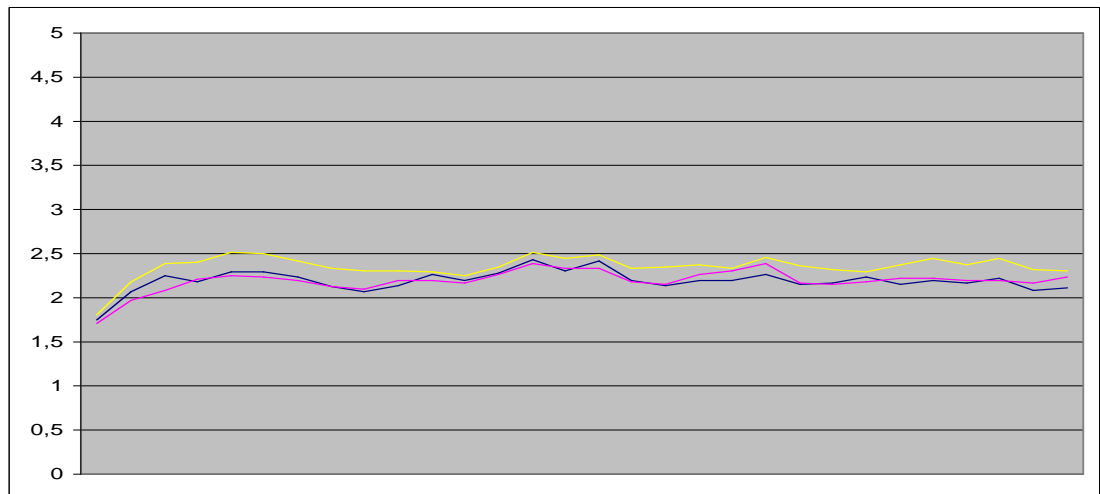
KUVA 8. C-rakennuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kuvassa 9 on C-rakennuksen yliaaltovirtojen jakauma. Eniten C-rakennuksessa on 3. yliaaltoa. Eniten 3. yliaaltoa C-rakennuksessa syntyy luultavimmin tietokoneista. Muita yliaaltoja C-rakennukseen aiheuttavat muun muassa ilmastointilaitteet. Yliaaltovirrat ovat yllättävän suuria (katso liite 3), joten niiden suodattaminen on luultavimmin suositeltavaa.



KUVA 9. C-rakennuksen yliaallot.

Jännitesäro C-rakennuksessa oli keskimäärin 2 % ja 2,5 % välillä, kuten kuvasta 10 voi havaita. Jännitesäron osalta jännitteen laatu on korkea.



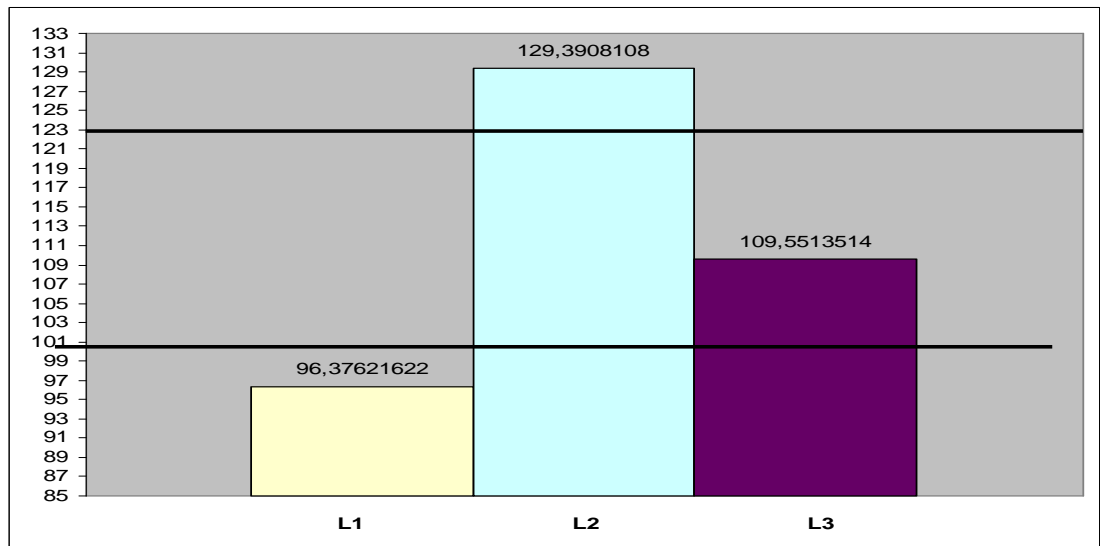
KUVA 10. C-rakennuksen jännitesäro.

C-rakennuksen nollajohtimessa kulki keskimäärin 21,82 ampeeria. Suurimmillaan nollajohtimessa oli 26,08 ampeeria virtaa. Virran nollajohtimeen aiheuttavat vinokuormitus ja enemmässä määrin 3. yliaalto. Nollajohtimen kuormitettavuus on kuitenkin selvästi suurempi kuin siellä kulkeva virta, joten se ei aiheuta vaaraa.

5.3 D-rakennus

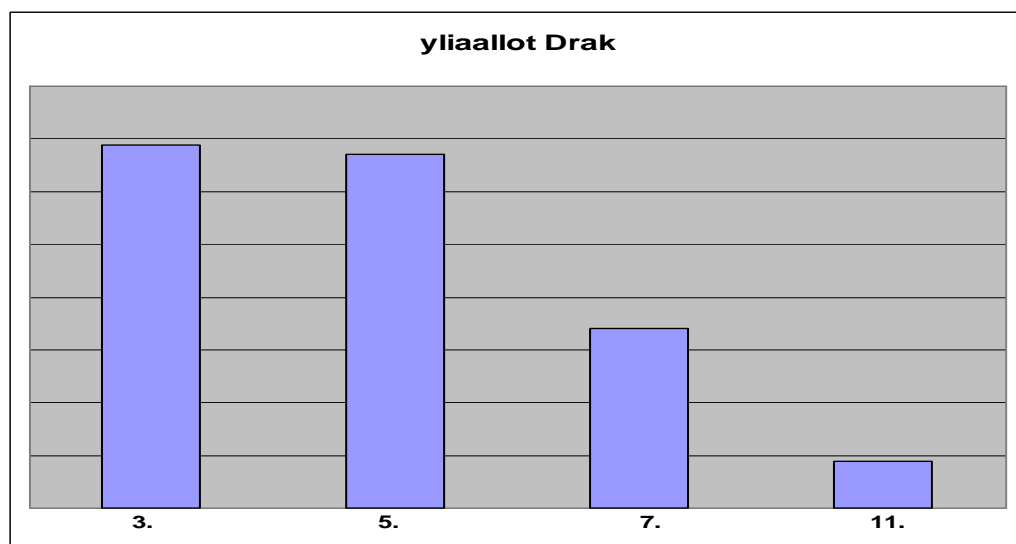
Sähköpääkeskukselta lähti D-rakennukseen DNK1 keskukseen kaksi AMCMK 3*240+71/72 syöttökaapelia. Mittaukset sijoituivat 3. – 5.2.2010 väliselle ajalle. Mittaus tulokset otin 4.2.2010 kello 7.03 – 16.03 väliseltä ajalta. Sähkön kulutus tuona aikana oli 693,03 kWh ja teho keskimäärin 74,92 kW. Suurimmillaan teho oli 90,35 kW. Mittausten aikana D-rakennukseen rakennettiin uutta kerrosta ja sähkö tälle työmaalle oli otettu D-rakennuksen keskukselta.

Kuvassa 11 on esitetty D-rakennuksen jokaisen vaiheen keskimääräinen virta ja vinokuormituksen suositusrajat. Suurin kuormitus yllättäen on 2. vaiheella (129,39 A) ja pienin 1. vaiheella (96,37 A). 2. ja 1. vaiheen virrat erosivat toisistaan noin 33,02 ampeeria. Vinokuormitusta on selvästi. 2. vaiheen virta on suositusrajan yläpuolella ja 1. vaiheen virta suositusrajan alapuolella. On suositeltavaa, että kuormitusta 2. vaiheelta siirretään 1. vaiheelle, jotta kuormituksia saadaan tasoitettua.



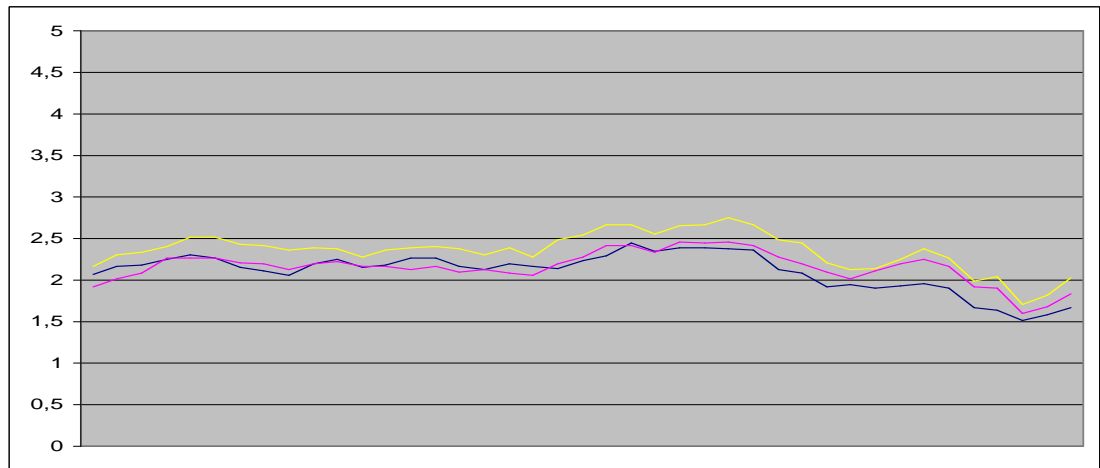
KUVA 11. D-rakennuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Yliaalto jakaumasta (kuva 12) näkyy, että D-rakennuksessa on eniten 3. yliaaltoa ja melkein yhtä paljon 5. yliaaltoa. Kolmatta yliaaltoa aiheuttavat muun muassa vinokuormitus ja tietokoneet. Viidettä ja seitsemättä yliaaltoa aiheuttavat luultavimmin eniten ilmastoinnin laitteet sekä laboratorioiden laitteet (esim. taajuusmuuttajat, moottoriohjaukset). Yliaaltovirtojen suuruudet johtuvat luultavasti loistehon kompensoinnin kanssa resonoinnista (liite 4). Yliaaltovirrat ovat sen verran suuria, että niiden suodattaminen on suositeltavaa. Suuret yliaaltovirrat voivat aiheuttaa häiriöitä muun muassa telekaapeleissa ja tietokoneissa.



KUVA 12. D-rakennuksen yliaallot.

D-rakennuksen jännitesärö oli suuruudeltaan 2 % ja 2,5 % välillä. Hetkellisesti kolmannen vaiheen jännitesärö nousi yli 2,5 %. Jännitesärö pysyi kuitenkin alle 3 prosentissa, joten sen osalta jännitteen laatu oli korkea. Koska jännitesärö ei ole korkeampaa, ei siitä välttämättä ole haittaa laitteille.



KUVA 13. D-rakennuksen jännitesärö.

Nollajohtimessa D-rakennuksessa kulki keskimäärin 44,93 ampeeria virtaa. Suurimmillaan virta nollajohtimessa oli 54,82 ampeeria (katso liite 4). Vinokuormituksen ja 3. yliaaltojen suuruus aiheuttavat virran nollajohtimeen. Vaikka virta onkin kohtuullisen suuri, niin se ei vielä aiheuta liiallista kuumenemista nollajohtimessa.

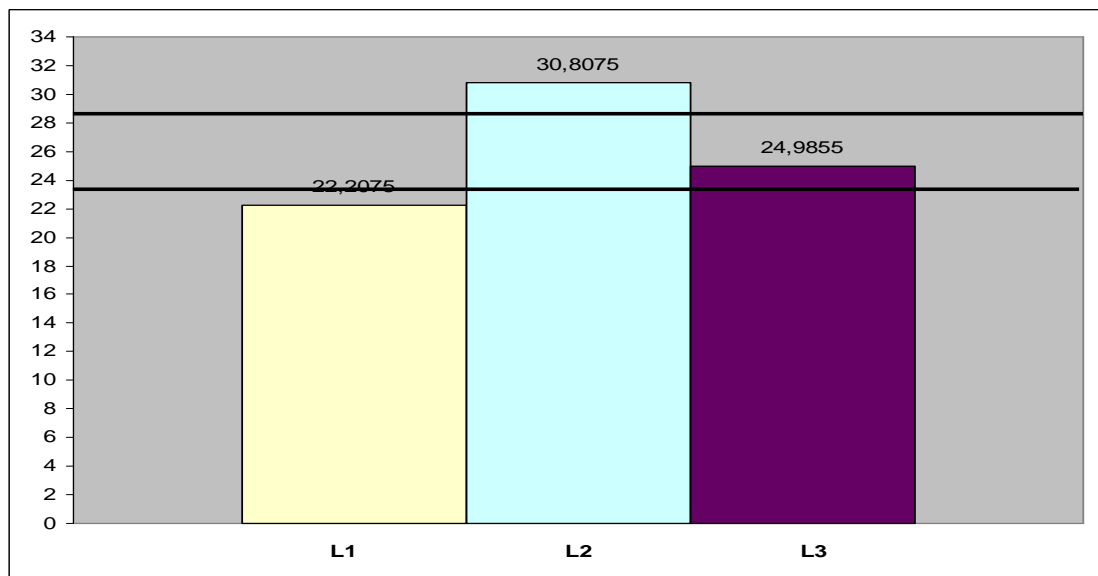
5.4 E-rakennus

E-rakennuksen sähköt jakautuivat viiteen eri keskukseen. ERK 001/ERK 101 keskus syötti E-rakennuksen alakertaa ja 1. kerrosta. ERK 201/ERK 302 keskus syötti 2. ja 3. kerrosta. ERK 401 syötti E-rakennuksen yläkerran ilmastointia. ERK 002 syötti alakerran ilmanvaihto laitteita. ERK 303 syötti E- rakennuksen yläkerrassa sijaitsevaa studio tilaa. ERK 001/101, ERK 201/302 ja ERK 401 keskuksille meni pääkeskukselta AMCMK 3*35+16/10 syöttökaapelit. ERK 303 keskukselle meni AMCMK 3*120+70/41 syöttökaapeli ja ERK 002 keskukselle AMCMK 3*70+35/21 syöttökaapeli. Mittaukset tein 7. – 12.2.2010. Kun mittasin ERK 303 keskusta, siellä ei ollut kuormitusta, joten jätin sen käsittelemättä.

5.4.1 E-rakennuksen ERK 001/ERK 101 keskus

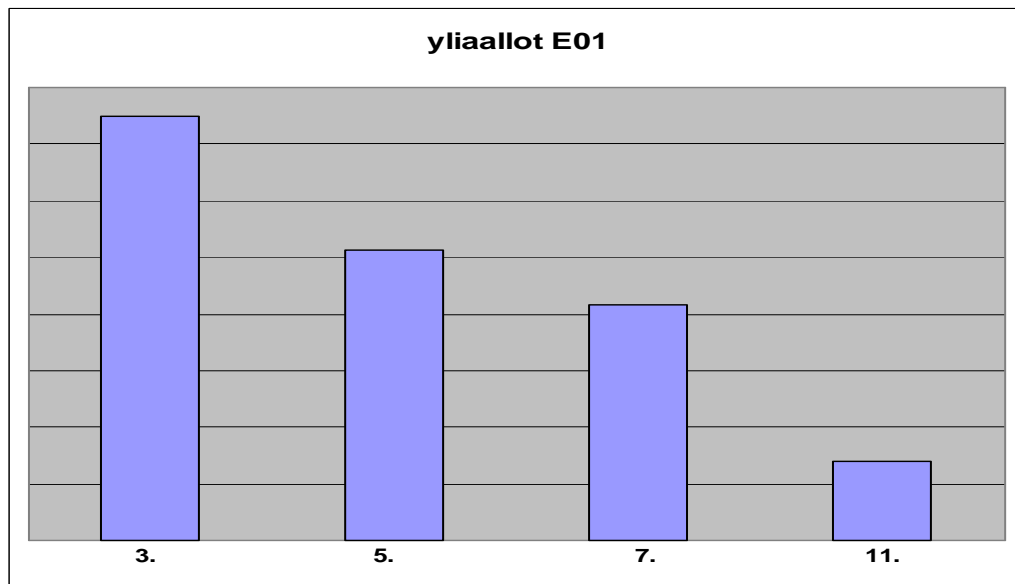
ERK 001/101 keskuksen mittaukset tein 9. – 10.2.2010. Mittaus tulokset otin 10.2.2010 kello 11.19 – 16.04 väliseltä ajalta. Tuolloin keskuksen sähkön kulutus oli 86,21 kWh ja keskimääräinen teho 17,24 kW. Suurimmillaan teho oli 19,41 kW.

ERK 001/101 keskuksessa on vinokuormitusta. 2. vaiheen kuormitus on yli suositusrajan ja 1. vaiheen kuormitus on rajan alapuolella (kuva 14). Suurin kuormitus oli 2. vaiheella (30,8 A) ja pienin 1. vaiheella (22,2 A). Kuormitus ero näiden vaiheiden kesken oli 8,6 ampeeria. Kovin suuria virtoja ERK 001/101 keskuksessa ei mene eikä vinokuormitus ole määrällisesti kovin suuri, mutta silti on suositeltavaa, että kuormituksia tasataan 1. ja 2. vaiheen kesken.



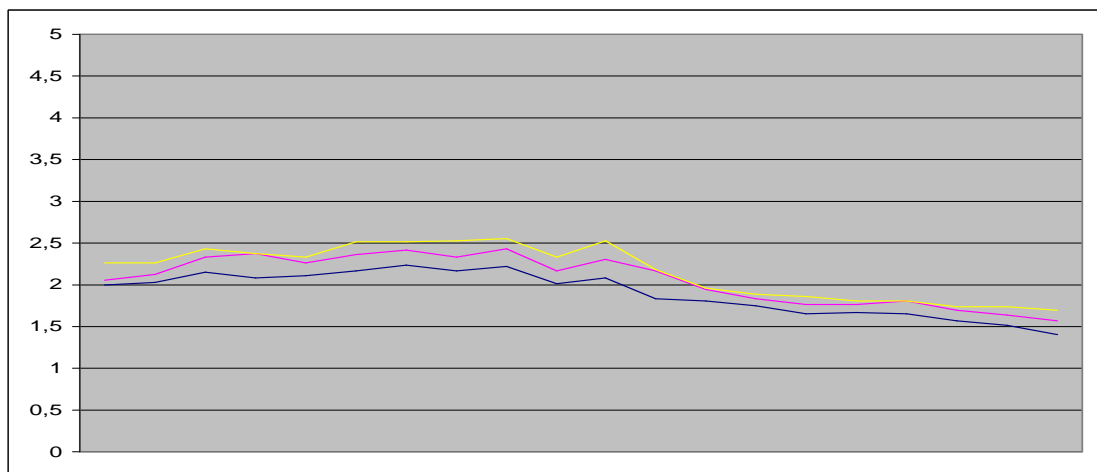
KUVA 14. E-rakennuksen ERK 001/ERK 101 keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kuvassa 15 on ERK 001/101 keskuksen yliaalto jakauma. Kuten kuvasta näkee, on 3. yliaaltoa eniten. Toiseksi eniten on 5. yliaaltoa. Kolmatta yliaaltoa keskukseseen aiheuttaa eniten luultavimmin vinokuormitus sekä tietokoneet. Määrällisesti yliaaltovirtoja on sen verran paljon, että on suositeltavaa asentaa yliaaltosuodatin. Tietokoneiden häiriöt voivat johtua suuresta yliaalto määrästä.



KUVA 15. E-rakennuksen ERK 001/ERK 101 keskuksen yliaallot.

Jännitesärö ERK 001/101 keskuksessa oli 2 ja 2,5 prosentin välillä (kuva 16). Tämä tarkoittaa, että jännitesärön osalta jännitteen laatu on korkeaa eikä se tarvitse korjaamista.



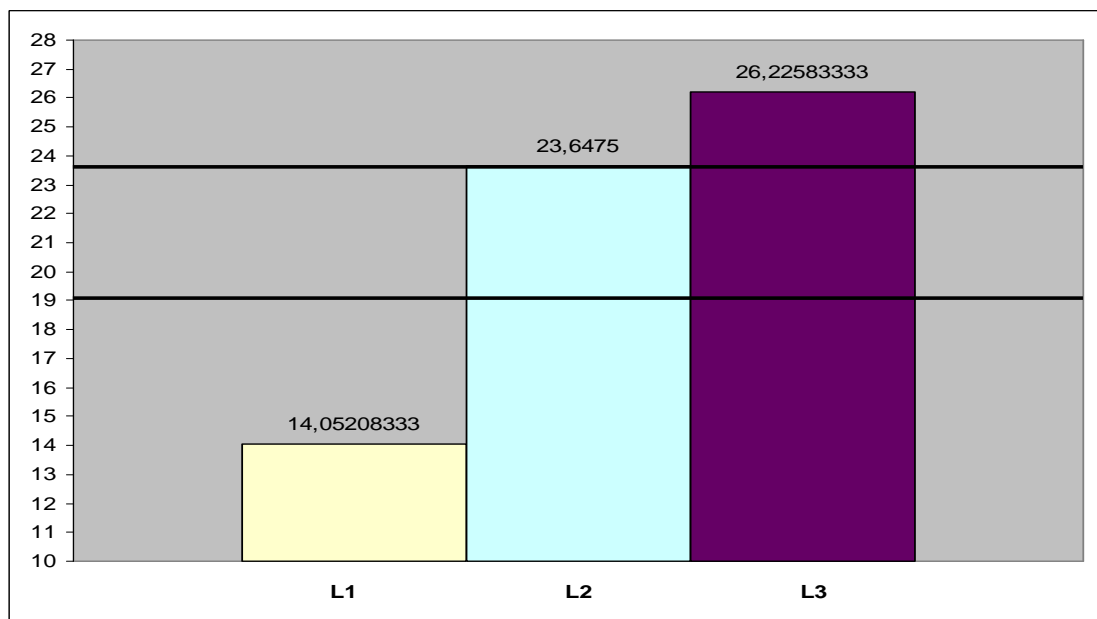
KUVA 16. E-rakennuksen ERK 001/ERK 101 keskuksen jännitesärö.

ERK 001/101 keskuksen nollajohtimen virta oli keskimäärin 17,48 ampeeria ja suurimmillaan 22,33 ampeeria (liite 5). Nollajohtimen kuormitettavuus riittää eikä se aiheuta suurempaa vaaraa. Nollajohtimen virta oli kuitenkin hyvin korkea verrattuna vaihejohtimien virtoihin. Pienin keskimääräinen kuormitus oli 1. vaiheella (22,2 A). Nollajohtimessa oli siis keskimääräisesti vain 4,72 ampeeria vähemmän virtaa kuin 1. vaiheen johtimessa. Tämä johtunee suuresta vinokuormasta ja 3. yliaaltovirtojen määrästä. Asia olisi syytä korjata.

5.4.2 E-rakennuksen ERK 201/ERK 302 keskus

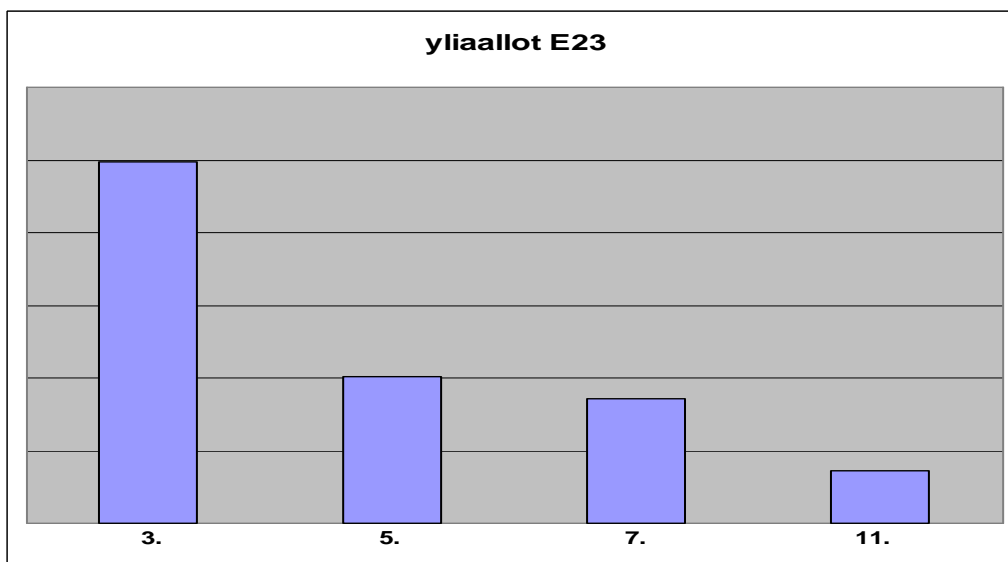
ERK 201/302 keskuksen mittaus tulokset otin 9.2.2010 kello 9.30 – 15.15 väliseltä ajalta. Sähkön kulutus tuona aikana oli 85,85 kWh ja teho keskimäärin 14,31 kW. Suurimmillaan teho oli 17,46 kW. Kuormitukset olivat pienimmillään kello 11.30 – 12.00 välisenä aikana, mikä johtunee ruokatauosta (liite 6).

ERK 201/302 keskuksessa kuormitettiin eniten 3. vaihetta (keskimäärin 26,22 A) ja vähiten 1. vaihetta (14,05 A), kuten kuvasta 17 näkee. Vinokuormitusta oli paljon. 3. vaiheen kuormitus oli yli suositusrajan ja 1. vaiheen kuormitus reilusti alle rajan. Näiden vaiheiden keskimääräinen kuormitus ero oli 12,17 ampeeria. Vinokuormitus aiheuttaa virtaa nollajohtimeen, kuten liitteestä 6 näkee. Vinokuormitusta pitäisi tasata. Vinokuormitus aiheuttaa myös 3. yliaaltoa.



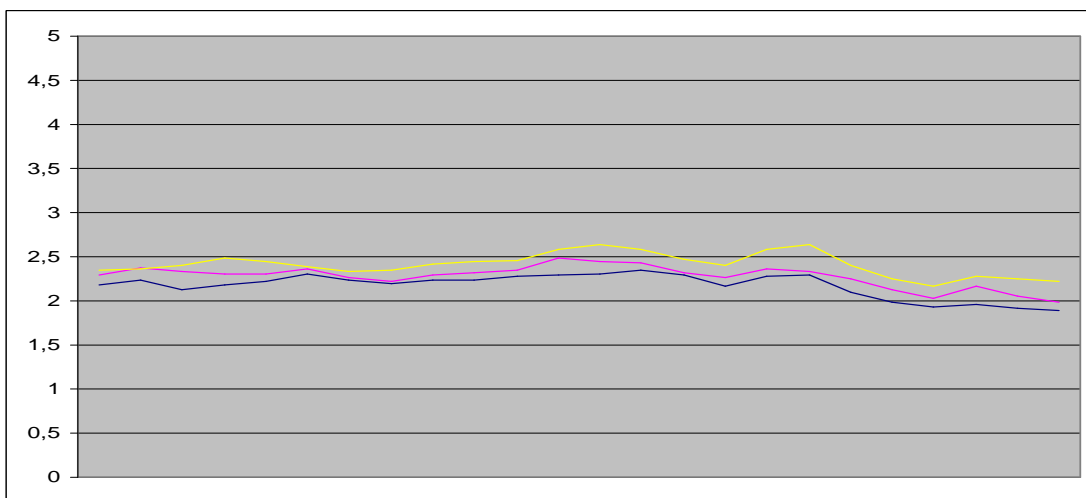
KUVA 17. E-rakennuksen ERK 201/ERK 302 keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

ERK 201/302 keskuksessa oli eniten 3. yliaaltoa, jota aiheuttaa muun muassa reilu vinokuormitus ja luokkien tietokoneet. Muita yliaaltoja oli huomattavasti vähemmän, kuten kuva 18 yliaalto jakaumasta näkee. Kolmatta yliaaltovirtaa oli huomattavan paljon ja sitä tuliikin suodattaa.



KUVA 18. E-rakennuksen ERK 201/ERK 302 keskuksen yliaallot.

ERK 201/302 keskuksessa suurin jännitesärö oli 3. vaiheella, kuten kuvassa 19 on esitetty. Jännitesärö oli keskimäärin 2,5 prosenttia ja alle sen. Tästä johtuen vaoitaneesanoa, että jännitesärön osalta jännitteen laatu oli korkeaa eikä siihen tarvitse puuttua sen enempää.



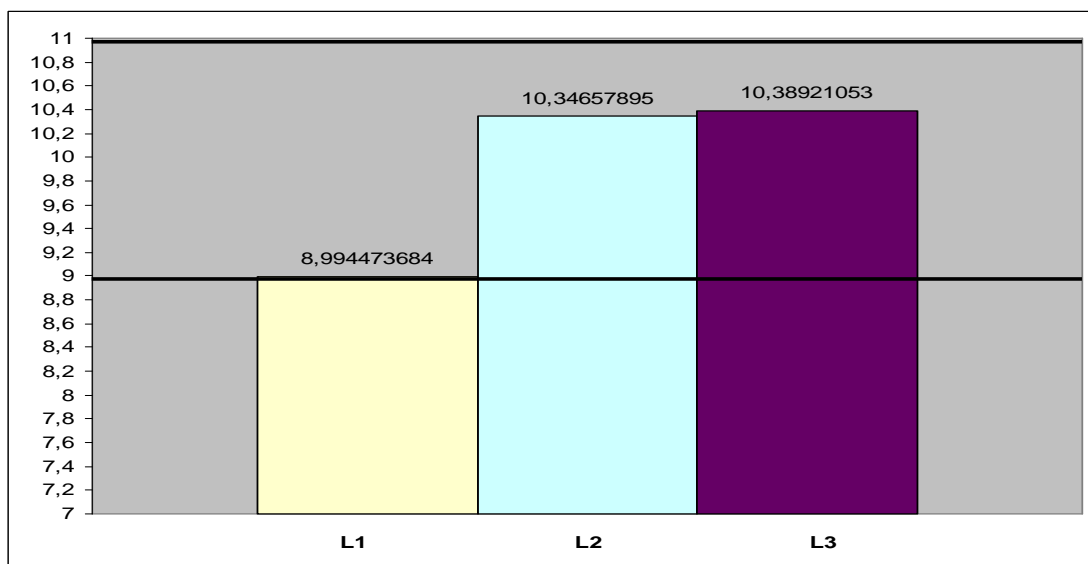
KUVA 19. E-rakennuksen ERK 201/ERK 302 keskuksen jännitesärö.

ERK 201/302 keskuksen nollajohtimen virta oli arvoltaan suhteellisen korkea. Keskimäärin nollajohtimen virta oli 17,94 ampeeria. Eli 3,89 ampeeria suurempi kuin 1. vaiheen keskimääräinen virta. Suurimmillaan nollajohtimen virta oli 22,88 ampeeria. Tämä asia olisi syytä korjata tasaamalla vinokuormitusta ja vähentämällä 3. yliaaltoa. Nollajohtimessa ei tulisi olla suurempaa virtaa kuin vaihejohtimessa.

5.4.3 E-rakennuksen ERK 401 keskus

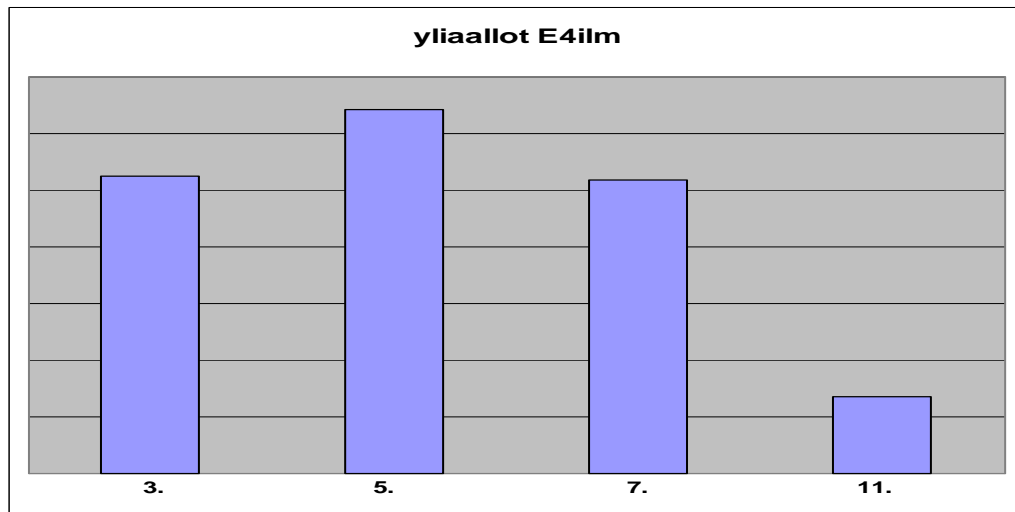
ERK 401 mittaukset tein 10. – 12.2.2010. Mittaus tulokset otin 11.2.2010 kello 6.53 – 15.53 väliseltä ajalta. Tuona aikana sähkön kulutus oli 36,56 kWh ja teho keskimäärin 3,95 kW. Suurimmillaan teho oli 8,29 kW. ERK 401 keskuksessa kuormitus oli päivän ajan kohtuullisen tasaista, vaikka se kasvoi kello 14.00 jälkeen.

Suurin kuormitus ERK 401 keskuksessa oli 3. vaiheella. Toisen vaiheen kuormitus oli hyvin lähellä 3. vaiheen kuormitusta, kuten kuva 20 esittää. Vinokuormitusta oli 1. vaiheen osalta, joka on hyvin lähellä suositusrajaa (kuva 20). Eroa 1. ja 3. vaiheen kuormituksissa oli kuitenkin vain 1,39 ampeeria, joten suurta haittaa tästä ei luultavasti ole.



KUVA 20. E-rakennuksen ERK 401 keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

ERK 401 keskuksessa oli eniten 5. yliaaltoa, johtuen kolmivaiheisista ilmastointi laitteista. Kolmatta ja seitsemättä yliaaltoa oli melkein yhtä paljon. Yliaaltovirtoja ei määrällisesti ollut kovin paljoa. Joka kerta kun kuormitus nousi (eli laitteet käynnistyivät tai lisäivät tehoaan), oli 5. yliaaltovirrassa huomattavissa piikki, joka kuitenkin tasoittui saman tien (liite 7).



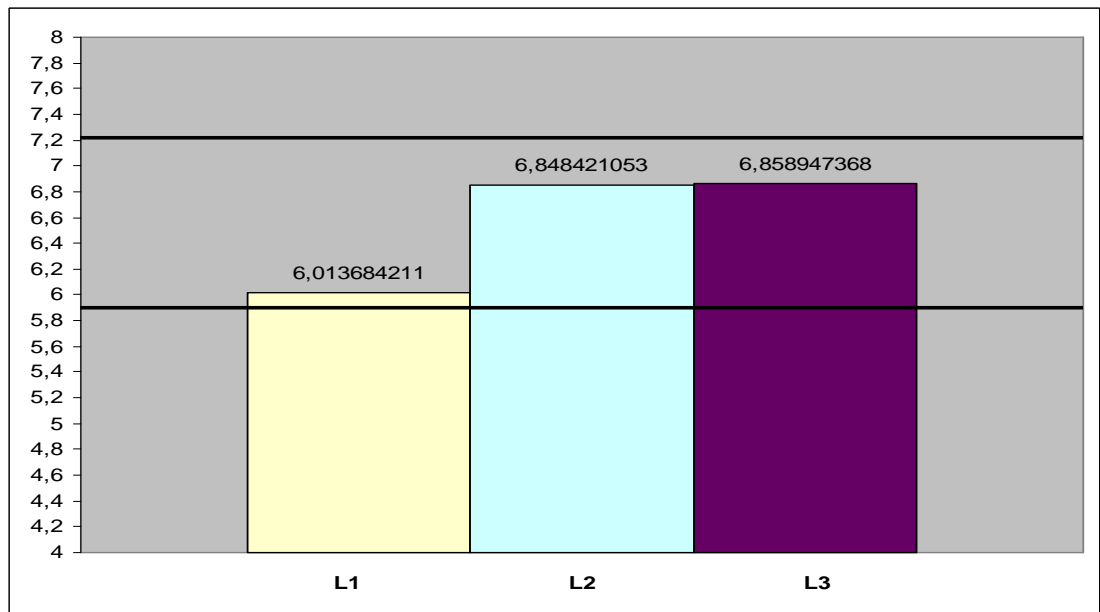
KUVA 21. E-rakennuksen ERK 401 keskuksen yliaallot.

ERK 401 keskuksessa ei nollajohtimessa liikkunut kovin suuria virtoja. Keskimäärin virtaa oli 1,55 ampeeria ja suurimmillaan virta oli 1,65 (liite 7). Nollajohtimen virran pienuus johtuu 3. yliaaltovirtojen vähyydestä sekä pienestä vinokuormituksesta. Tässä keskuksessa Ei korjauksen tarvetta juuri ole, yliaaltojen tai vinokuormituksen osalta.

5.4.4 E-rakennuksen ERK 002 keskus

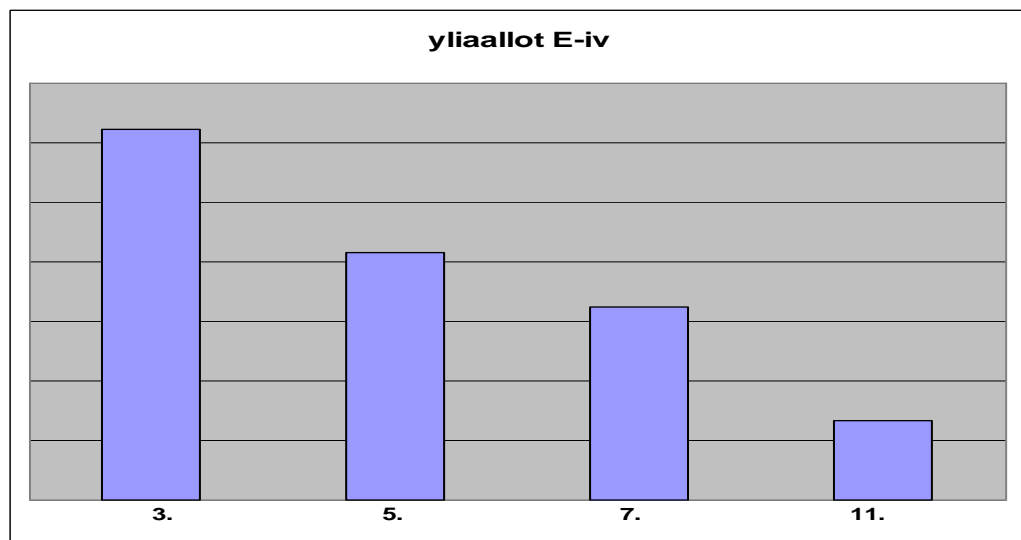
Mittaukset ERK 002 keskuksessa tein 7. – 9.2.2010. Tulokset otin 8.2.2010 kello 6.56 – 15.56 väliseltä ajalta. Sähkön kulutus ERK 002 keskuksessa oli 36,11 kWh ja teho oli keskimäärin 3,9 kW. Suurimmillaan teho oli 3,95 kW. Kovin suuria kuormituksia ERK 002 keskuksessa ei siis ollut. Kuormitukset olivat aika tasaisia päivän aikana.

Keskuksessa 2. ja 3. vaiheen kuormitukset olivat hyvin lähelle saman suuruisia ja 1. vaiheen kuormitus hieman pienempi. Vinokuormitus oli vähäistä, kuten kuvassa 22 näkyy. Vinokuormituksen osalta ei ole korjattavaa.



KUVA 22. E-rakennuksen ERK 002 keskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Yliaaltovirtojen määrä oli vähäistä (liite 8). Eniten ERK 002 keskuksella oli 3. yliaaltoa ja vähiten 11. yliaaltoa, kuten kuvasta 23 näkee. Yliaaltojen määrä oli sen verran vähäistä, että niiden suodattaminen ei ole tarpeen.



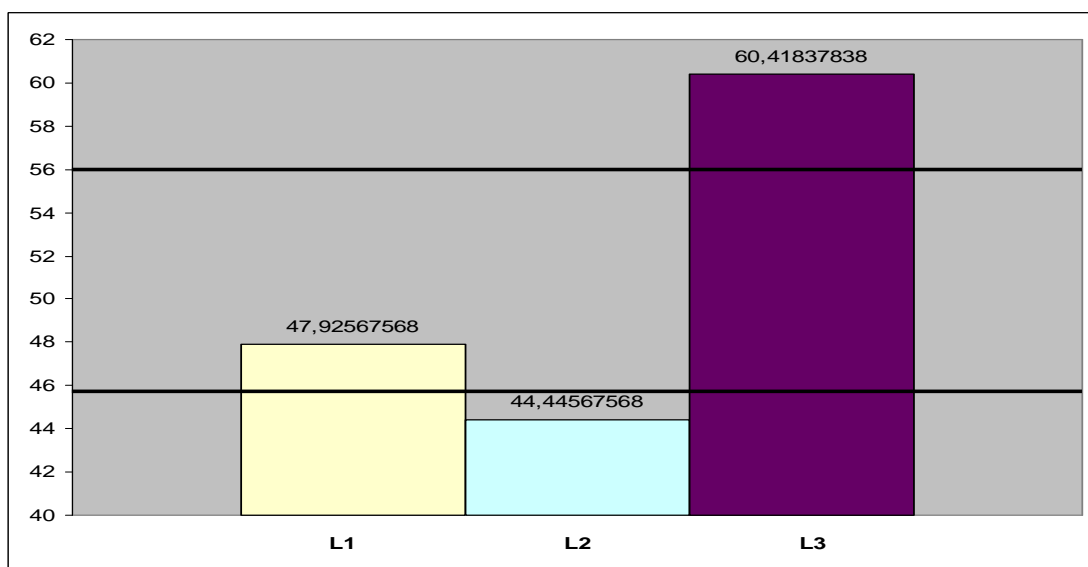
KUVA 23. E-rakennuksen ERK 002 keskuksen yliaallot.

Nollajohtimen keskimääräinen virta ERK 002 keskuksessa oli 1,27 ampeeria ja suurimmillan se oli 1,37 ampeeria (liite 8). Keskuksella ei ollut juuri vinokuormitusta eikä 3. yliaaltoja, jotka olisivat aiheuttaneet tämän enempää virtaa nollajohtimeen. Tässä keskuksessa ei näin ollen ole korjattavaa, näiden asioiden osalta.

5.5 Kirjasto

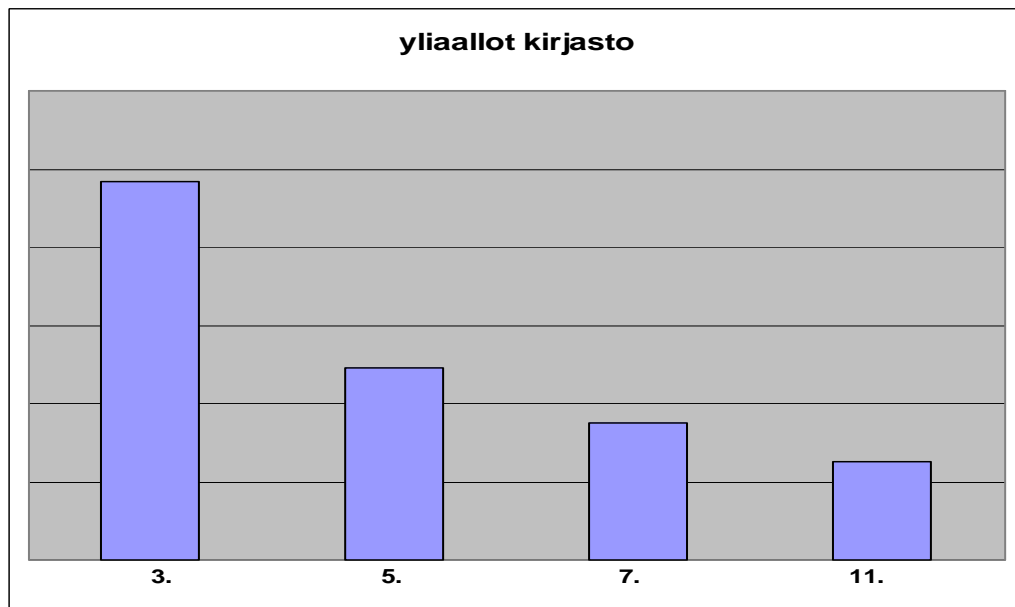
Kirjastolle ja ympäristö laboratoriolle meni yhteinen syöttökaapeli. Pääkeskukselta lähti kirjaston keskukselle AMCMK 3*185+90/57 syöttökaapeli. Mittaukset kirjaston keskuksella tein 28. – 30.1.2010. Mittaus tulokset otin 29.1.2010 kello 7.01 – 16.01 väliseltä ajalta. Tuolloin sähkönkulutus oli 320,85 kWh. Keskimääräinen teho oli 34,68 kW ja suurimmillaan teho oli 42,69 kW.

Kirjastossa oli huomattavissa reilua vinokuormitusta. 3. vaihe oli eniten kuormitettu (60,41 A) ja 2. vaihe vähiten (44,44 A), kuten kuvasta 24 näkee. Eroa näiden vaiheiden kuormituksilla oli 15,97 ampeeria. Kolmas vaihe oli koko ajan selvästi eniten kuormitettu (liite 9). Vinokuormitusta oli yönkin aikana hyvin paljon, mikä näkyy myös nollajohtimen virran suuruutena (liite 9). Kuormitusten tasaaminen on suositeltavaa.



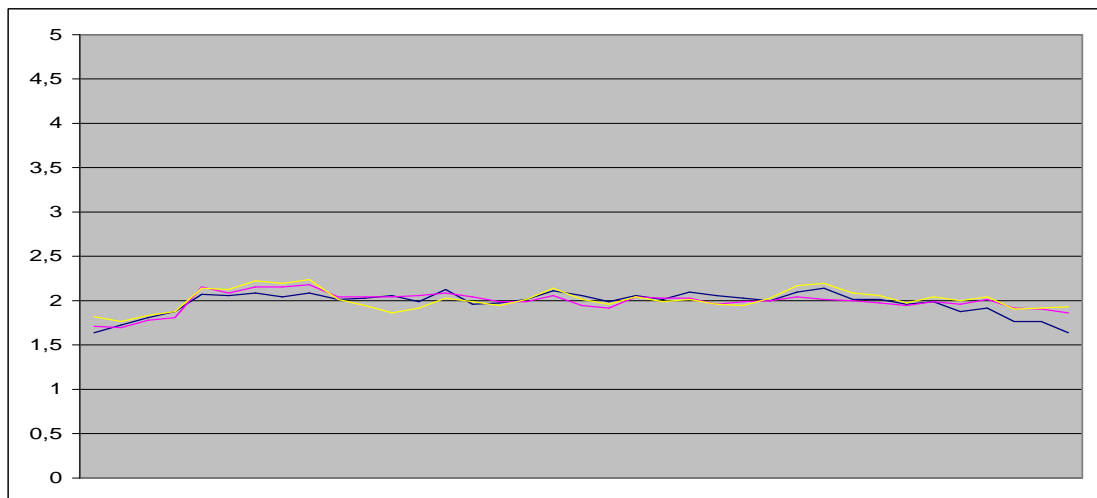
KUVA 24. Kirjaston vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kirjaston keskuksessa oli eniten 3. yliaaltoa, mikä olikin odotettavaa. Kolmatta yliaaltoa kirjastossa aiheuttaa muun muassa tietokoneet. Liitteestä 9 voi havaita, että 3. yliaaltovirran määrä tippuu huomattavasti illalla, koska tietokoneet ovat suljettuina. Muita yliaaltoja aiheutuu muun muassa kirjaston ilmastointi laitteista. Viidettä ja seitsemättä yliaaltoa on runsaasti myös yön aikaan (liite 9). Yliaaltovirtojen määrät ovat sen verran suuria, että on melkein suositeltavaa suodattaa niitä.



KUVA 25. Kirjaston yliaallot.

Jännitesäröä ei kirjastossa ollut kovin paljoa, kuten kuvassa 26 näkyy. Jännitesärön oli keskimäärin noin hieman yli 2 prosenttia, jolloin jännitteen laatu voidaan luokitella korkeaksi jännitesärön osalta.



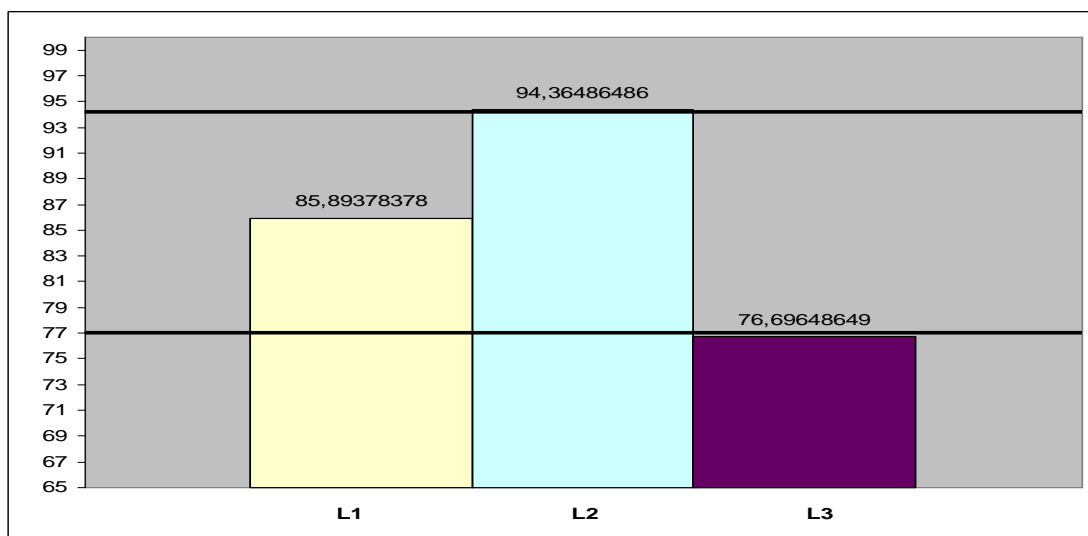
KUVA 26. Kirjaston jännitesärö.

Kirjaston keskuksen nollajohtimen virta oli keskimäärin 23,24 ampeeria, joka on noin puolet 2. vaiheen keskimääräisestä virrasta (liite 9). Nollajohtimen virran suuruus johtuu vinokuormituksen suuruudesta ja 3. yliaaltojen suuresta määrästä. Näitä poistamalla saataisiin nollajohtimen virtakin pienemmäksi. Nollajohtimessa ei kuitenkaan liiku vaarallista määrää virtaa.

5.6 Ruokala

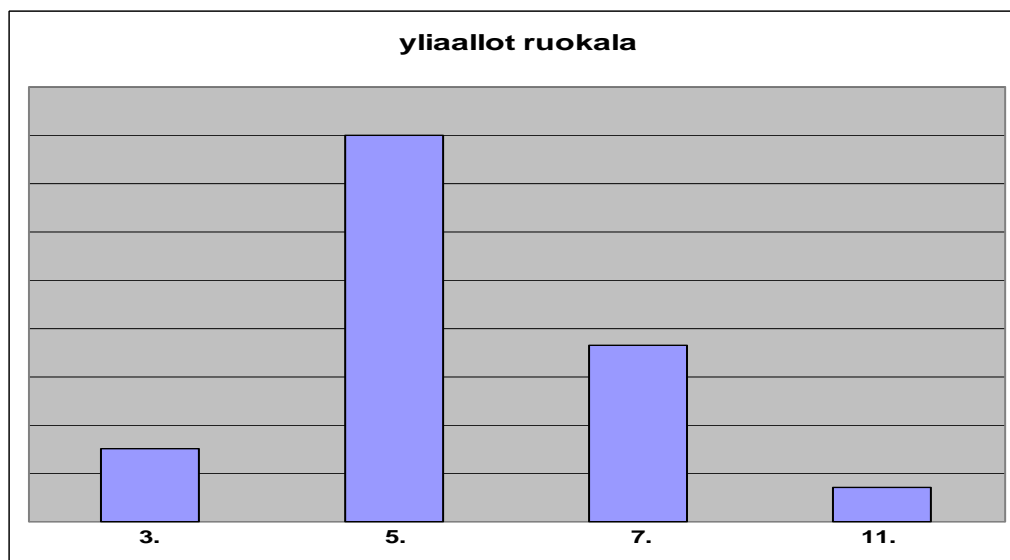
Ruokalan keskuksen mittaukset tein 31.1. – 2.2.2010. Mittaus tulokset otin 1.2.2010 kello 6.53 – 15.53 väliseltä ajalta. Pääkeskukselta ruokalan keskukselle lähti 2* AMCMK 3*95+50/29 syöttökaapelit. Ruokalan sähkönkulutus oli 532,99 kWh ja keskimääräinen teho 57,62 kW. Suurimmillan teho oli 108,99 kW. Suurimmat kuormitukset ruokalassa oli noin kello 8.00 ja kello 12.00 aikoihin (liite 10). Ruokalan kuormitus oli hyvin ”piikkimäistä”, joka johtunee muun muassa yhdistelmäuunien on/off- periaatteellisesta toiminnasta.

Ruokalassa oli vinokuormitusta, varsinkin yöllä. Yön aikaan vinokuormitus näkyy kuvissa selvimmin (liite 19). Suurin kuormitus oli 2. vaiheella (94,36 A) ja pienin 3. vaiheella (76,69 A). Toisella vaiheella oli siis 17,67 ampeeria enemmän kuormitusta kuin 3. vaiheella, kuten kuvasta 27 voidaan todeta. Kolmannen vaiheen kuormitus oli hieman suositusrajan alapuolella. Toisen vaiheen kuormitus oli aivan suositusrajalla. On suositeltavaa siirtää kuormitusta 2. vaiheelta 3. vaiheelle.



KUVA 27. Ruokalan vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Kuten oli arvattavaa, ruokalan keskuksessa oli eniten viidettä yliaaltoa (kuva 28). Tämä johtuu muun muassa yhdistelmäuuneista, kylmiöstä ja muista kolmivaiheisista keittilaitteista. Viidettä yliaaltoa oli huomattava määrä (liite 10). Yliaaltovirtojen suuri määrä voi aiheuttaa muun muassa laitteisiin toimintahäiriöitä sekä häiriöitä telekaapeleihin. Viidettä yliaaltoa tulisi vähentää huomattavasti ruokalan keskuksessa. Yöllä ja illalla ruokalassa ei ollut juurikaan yliaaltoja (liite 10).



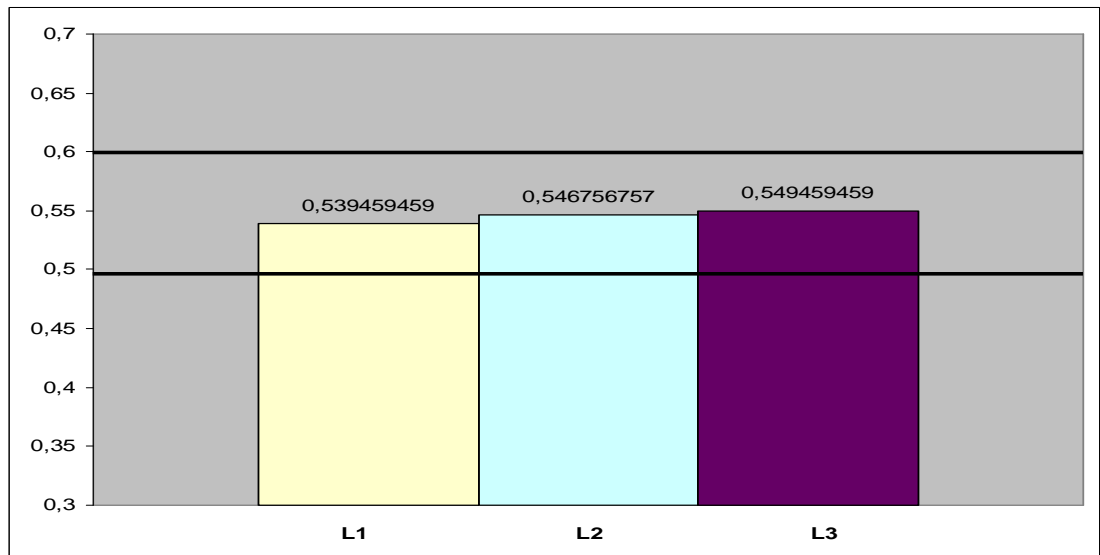
KUVA 28. Ruokalan yliaallot.

Ruokalan keskuksen nollajohtimessa kulki keskimäärin 15,13 ampeeria virtaa. Suurimmillaan 33,04 ampeeria. Nollajohtimen virta johtuu 3. yliaalloista sekä vinokuormituksesta. Yön aikaan nollajohtimen virta oli selvästi suurempi kuin 3. vaihejohtimen virta, joka johtuu suuresta vinokuormituksesta (liite 10). Kuormitusten taseus on suositeltavaa, jolloin nollajohtimen virta saadaan pienemmäksi.

5.7 Sähköpääkeskus

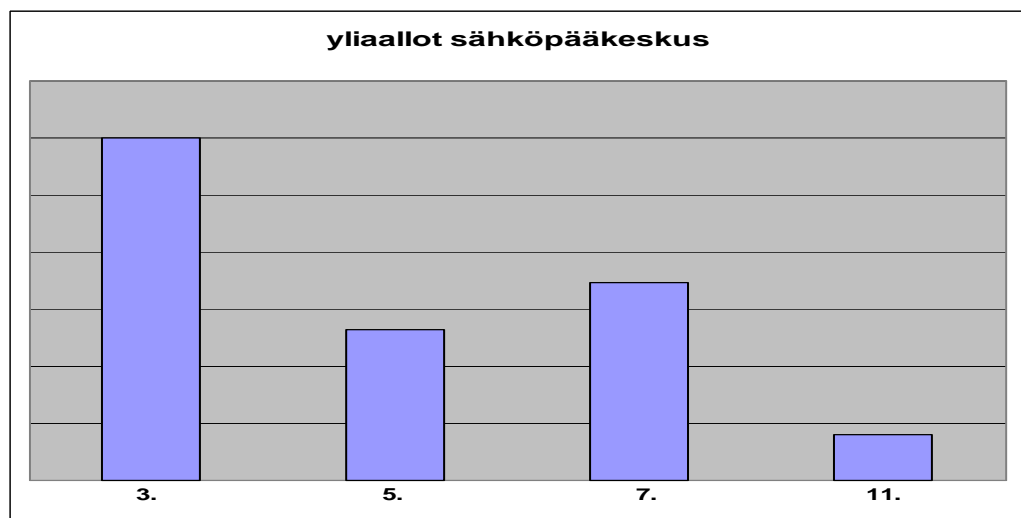
Sähköpääkeskus sijaitsi E-rakennuksen alakerrassa ja viereisissä huoneessa oli sitä syöttävä muuntaja. Muuntajalta sähköpääkeskukselle tuli kaksi AXMK 3*300+300 syöttökaapelia. Mittaukset tein tässä keskuksessa 21. – 26.01.2010. Mittaustulokset otin 22.01.2010 kello 6.58 – 15.58 väliseltä ajalta. Tuolloin sähkönkulutus oli 3,40 MWh ja teho oli keskimäärin 0,36 MW. Suurimmillaan teho oli 0,43 MW (kello 11.43).

Kuten kuvssa 29 näkyy, suurin kuormitus sähköpääkeskuksess oli 3. vaiheella (0,54 kA) ja pienin 1. vaiheella (0,53 kA). Vinokuormitusta näin ollen ei siis juurikaan ollut. Vaikka muissa keskuksissa oli vinokuormituksia, niin pääkeskuksella ne tasaantuivat. Näin ollen myöskään keskusta syöttävää muuntajaa ei vinokuormitettu.



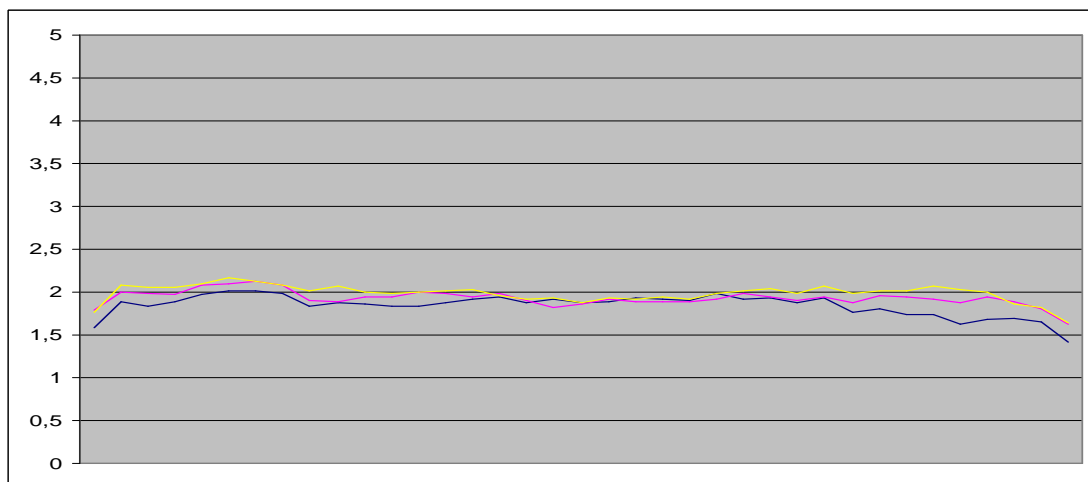
KUVA 29. Sähköpääkeskuksen vinokuormitus 10 % suositusrajoineen.

Yliaaltoja ei sähköpääkeskuksessa juurikaan ollut. Yliaaltovirrat olivat hyvin pieniä (liite 11). Eniten sähköpääkeskuksella oli 3. ja 7. yliaaltoja, mutta nämäkin olivat hyvin alhaisia määriä.



KUVA 30. Sähköpääkeskuksen yliaallot.

Jännitteen laatu pääkeskuksella oli jännitesärön osalta korkeaa. Jännitesäröä oli keskimäärin 2 prosenttia ja sen alle. Tämä johtunee myös hyvin pienistä yliaalloista.



KUVA 31. Sähköpääkeskuksen jännitesärö.

Pääkeskuksen nollajohtimessa meni keskimäärin 0,11 kA virtaa ja suurimmillaan 0,14 kA. Tämä virtaa johtuneen muiden keskuksien nollajohtimien virroista, joita pääkeskus syöttää ja joita 3. yliaallot ja vinokuormitus ovat aiheuttaneet. Nollajohtimen virta saattaa aiheuttaa joitain elinikää vähentäviä vaikutuksia muuntajassa, riippuen muuntajan kytkennöistä. Muuten nollajohtimen virta on sen verran pieni verrattuna vaihevirtoihin, että se ei aiheuta harmia sähköpääkeskuksessa.

6 POHDINTA

Työssä tarkoitukseni oli tutkia epäsymmetristä kuormitusta sekä yliaaltoja Mikkelin ammattikorkeakoulun rakennuksissa. Tavoitteeni oli oppia käyttämään verkkoanalysointia, analysoida ja tulkitsemaan sen tuottamia tuloksia sekä lisätä tietouttani aiheena olevista asioista. Tavoitteisiini pääsin kohtuullisen hyvin vaikka aihe olikin melko hankala yliaaltojen osalta. Aivan kaikkea en saanut sisäistettyä yliaalloista ja itse mittarin käytön opetteleminen jäi vajavaiseksi. Mittaustuloksien tulkinta ja analysointi taitoni lisääntyivät huomattavasti ja opin myöskin käyttämään uutta ohjelmaa.

Mittaustulokset epäsymmetrisen kuormituksen osalta eivät olleet yllättäviä. Epäsymmetristä kuormitusta oli jokaisen rakennuksen keskuksessa. Useimmissa keskuksissa se kuitenkin pysyi suositusrajojen sisällä ja oli hyvin pientä. D-

rakennuksen, E- rakennuksen alakerran ja 1. kerroksen, E-rakennuksen 2. ja 3. kerroksen, kirjaston ja ruokalan keskuksissa epäsymmetrinen kuormitus oli yli suositusrajojen. Suurin kuormitusvirta ei kohdistunut jokaisessa keskuksessa 1. vaiheelle vaan joissain myös 2. ja 3. vaiheelle. Tämän takia sähköpääkeskuksessa ei ollut juurikaan epäsymmetristä kuormitusta vaan ne tasaantuivat. Jos kuormituksia tasataan keskuksilla, niitä tulisi tasata useammassa keskuksessa, jotta epäsymmetristä kuormitus ei lisääntyisi pääkeskuksessa. Koska sähköpääkeskuksella ei juurikaan ollut epäsymmetristä kuormitusta, ei siitä ole haittaa pääkeskusta syöttävälle muuntajalle.

Yliaaltojen osalta mittaustulokset olivat vaikeammin tulkittavia. Kaikissa keskuksissa yliaaltoja esiintyi, mutta määrät vaihtelivat suuresti. Kolmas yliaalto ei ollut suurimmin esiintyvä kaikissa keskuksissa (esim. ruokala), johtuen kolmivaihelaitteiden suuresta käytöstä. Kuitenkin rakennuksissa, joissa oli esimerkiksi paljon tietokoneita (E-rakennus), oli kolmatta yliaaltoa eniten. Määriltään yliaaltovirrat olivat hieman epäilyttäviä. Joko en osannut tulkita tuloksia oikein, mittauksissa on käynyt jokin virhe tai tilanne on niin paha kuin mitä tulokset näyttävät. Mittaustulosten mukaan melkein jokaisessa keskuksessa yliaaltovirtoja olisi noin 1,5 – 3 kertaa enemmän kuin vaihevirtoja. Esimerkiksi ruokalan keskuksessa kuormitusvirta 3. vaiheella oli keskimäärin 76,69 ampeeria ja 5. yliaaltovirtaa samalla vaiheella oli 176,53 ampeeria. Yliaaltovirtojen suuruudet voivat toki mahdollisesti johtua kompensoinnistakin mutta tällaisessa tilanteessa luulisi, että jotain ongelmia olisi ilmennyt. Tämä asia olisi hyvä selvittää. Jos mittaustulokset pitävät paikkaansa ja tulkitsin ne oikein, suosittelen ehdottomasti yliaaltojen suodattimien asennusta. Jännitesärö pysyi jokaisessa keskuksessa alle 2,5 prosentissa.

Jännitesärön osalta jännitteen laatu voidaan siis luokitella hyväksi, eikä sen osalta tarvitse parannuksia tehdä.

Koska en juurikaan ollut aiemmin käyttänyt Metrel verkkoanalysaattoria tai PowerLink- ohjelmaa, suhtauduin tuloksiin hieman varauksella. On myös hyvä muistaa, että analysaattori otti mittaustulokset 15 minuutin välein. Mittaus aikaväliä lyhentämällä olisi saanut ehkä hieman tarkempia tuloksia. Olisi myös ollut hyvä, jos mittaukset olisi tehty jokaisessa keskuksessa viikon mittaisina. Viikonlopulta

mittauksia ei välttämättä tarvitse, koska silloin rakennuksissa ei ole juurikaan kuormitusta.

Työssä mahdollisiin ongelmiin ei sinäänsä puututtu vaan ne pyrittiin tuomaan esille. Asioita jäi vielä avonaisiksi. Esimerkiksi virran aaltomuotoa olisi hyvä tarkastella lähemmin oskilloskoopilla. Tällöin nähtäisiin myös yliaaltojen vaikutus paremmin. Yliaaltovirtojen suuruus kannattaisi myöskin mitata esimerkiksi jollain toisella mittarilla tuloksien varmistamiseksi. Epäsymmetrisen kuormituksen osalta ongelmia ei ole, koska nollajohtimen virta ei noussut vaarallisen korkeaksi millään keskuksella eikä muuntajaa kuormitettu epäsymmetrisestä. Siltikin asia olisi hyvä ottaa huomioon ja mahdollisesti suorittaa pieniä parannuksia, jotta sähkön laatua saataisiin parannettua ja epäsymmetrinen kuormitus pysyisi suositusrajojen sisällä.

LÄHTEET

ABB 1999. Kolmannen yliaallon opas. ABB Control Oy. WWW-dokumentti.
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/2857AF09DDA38FF8C1256C5500269598/\\$File/THFOP-FI.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/2857AF09DDA38FF8C1256C5500269598/$File/THFOP-FI.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 16.2.2010.

Federley Jaana 2009. Energiatehokkaat moottorikäytöt. Teknillinen korkeakoulu.
Koulutusmateriaali. Motiva Oy. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/2408/Energiatehokas_moottorij_rjestelm_.pdf
Ei päivitystietoa. Luettu 16.2.2010

Huurinainen Ville 2006. Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö. WWW-dokumentti.

<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4971/TMP.objres.853.pdf?sequence=1>

Ei päivitystietoa. Luettu 16.2.2010.

Julkaisu D1 2006. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Luettu 18.03.2010.

Kontturi Marko & Ålander Jouni 2008. Energiasäästölamppujen verkkovaikutukset. pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. WWW-dokumentti.

<http://www.ncp.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/Kontturi%20&%20%C3%85lander.pdf>

Ei päivitystietoa. Luettu 6.2.2010.

Korpinen Leena. Yliaalto-opus. WWW-dokumentti.

<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>

Ei päivitystietoa. Luettu 6.4.2010.

Metrel käyttöohjeet, versio 3, koodi numero 20 750 701. Luettu 22.2.2010.

Romo Mikko 2004. Sähköverkon häiriöt ja niiden mittaaminen sekä analysointi Metrel MI 2292 plus mittalaitteella. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Luettu 10.2.2010.

Ruppa Erkki 2001. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Tekniikan Porin yksikkö. www-dokumentti. <http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/yliaallot.doc>. Ei päivitystietoa. Luettu 18.03.2010.

ST 52.51.04 2006. Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. Sähköinfo Oy. ST-kortisto. Luettu 25.2.2010.

ST 52.50 2006. Sähkönlaatu. Käsitteet ja vaatimukset. Sähköinfo Oy. ST-kortisto.
Luettu 25.2.2010.

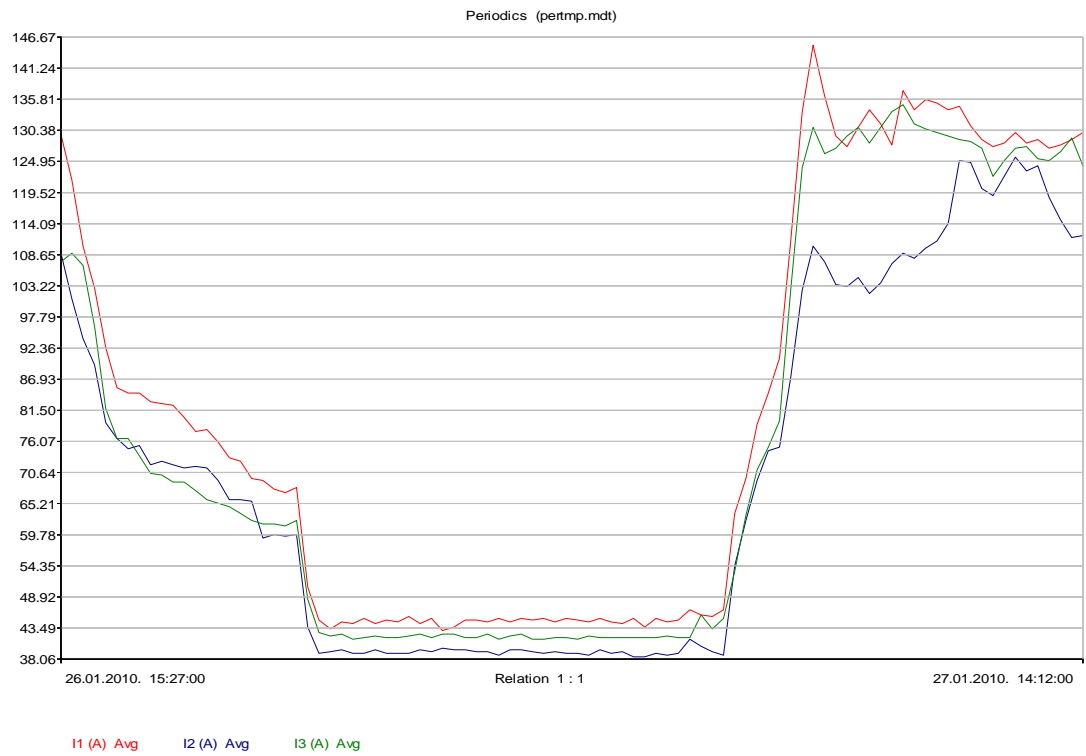
TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: Sähkön laatu. ABB. WWW-dokumentti.
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/040_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/040_0007.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 16.2.2010.

Huurinainen Ville 2006. Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö. WWW-dokumentti.
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4971/TMP.objres.853.pdf?sequence=1>
Ei päivitystietoa. Luettu 16.2.2010.

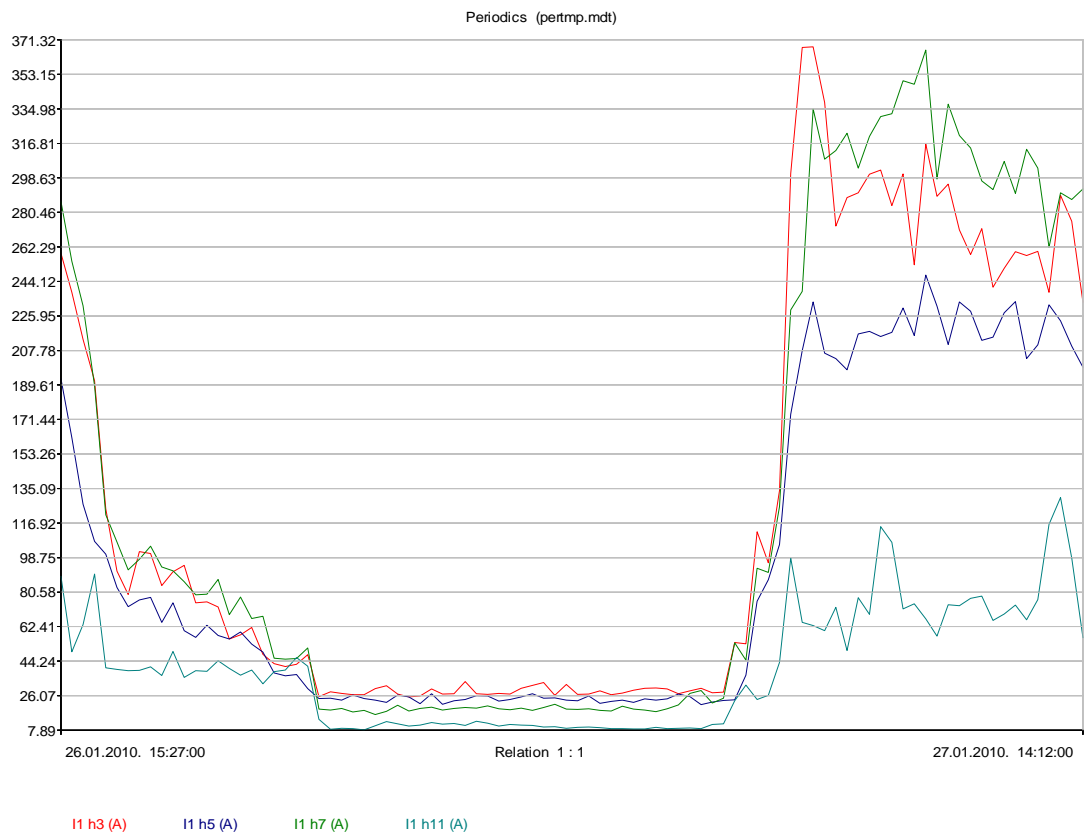
LIITTEET

Liite 1

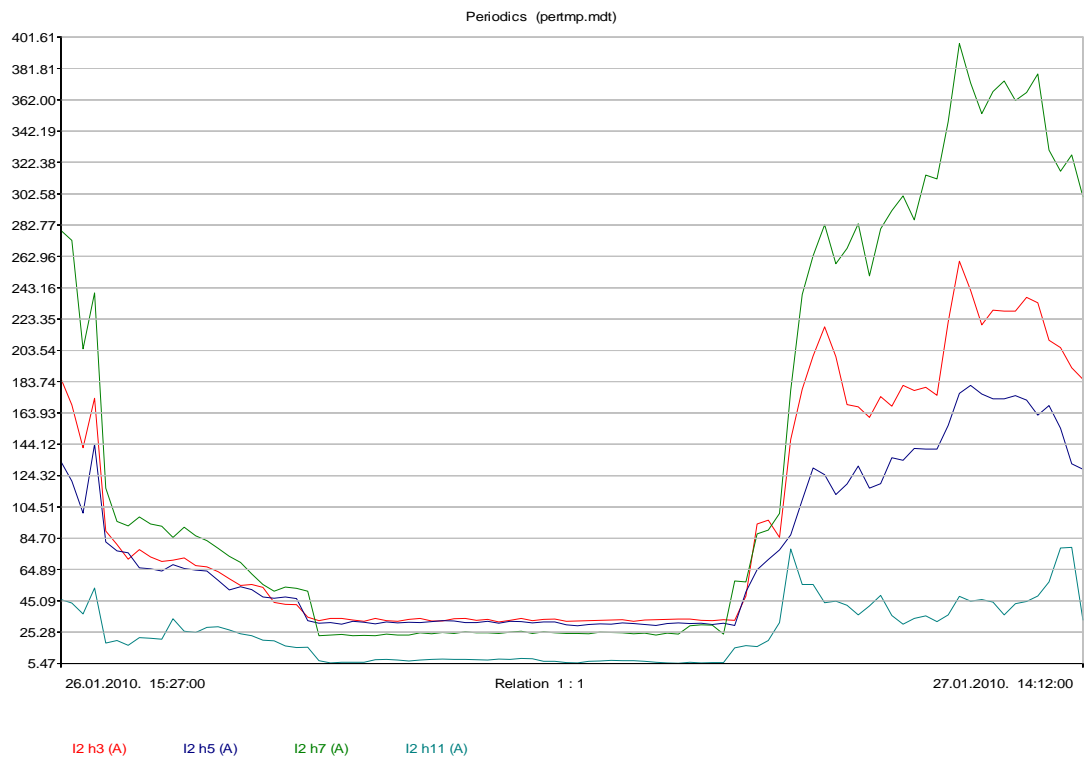
A-rakennuksen LNKIN syötön virrat.



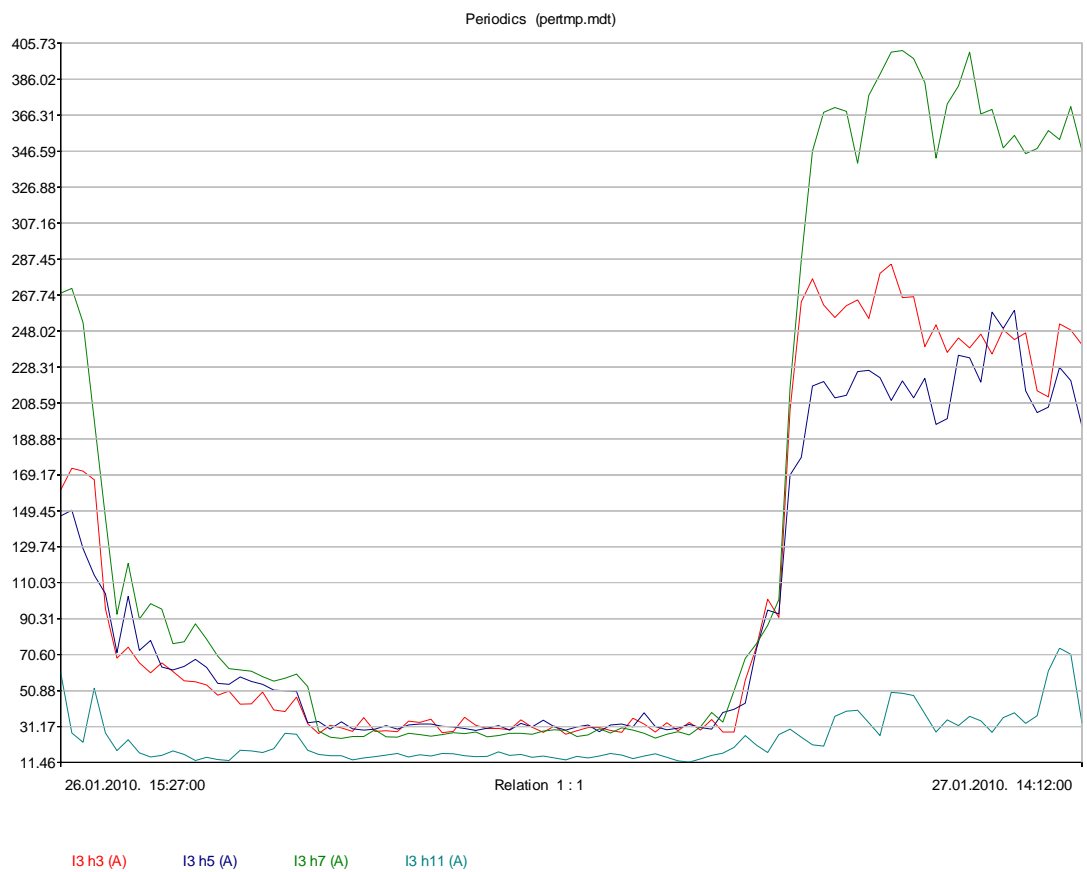
A-rakennusken LNKIN syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



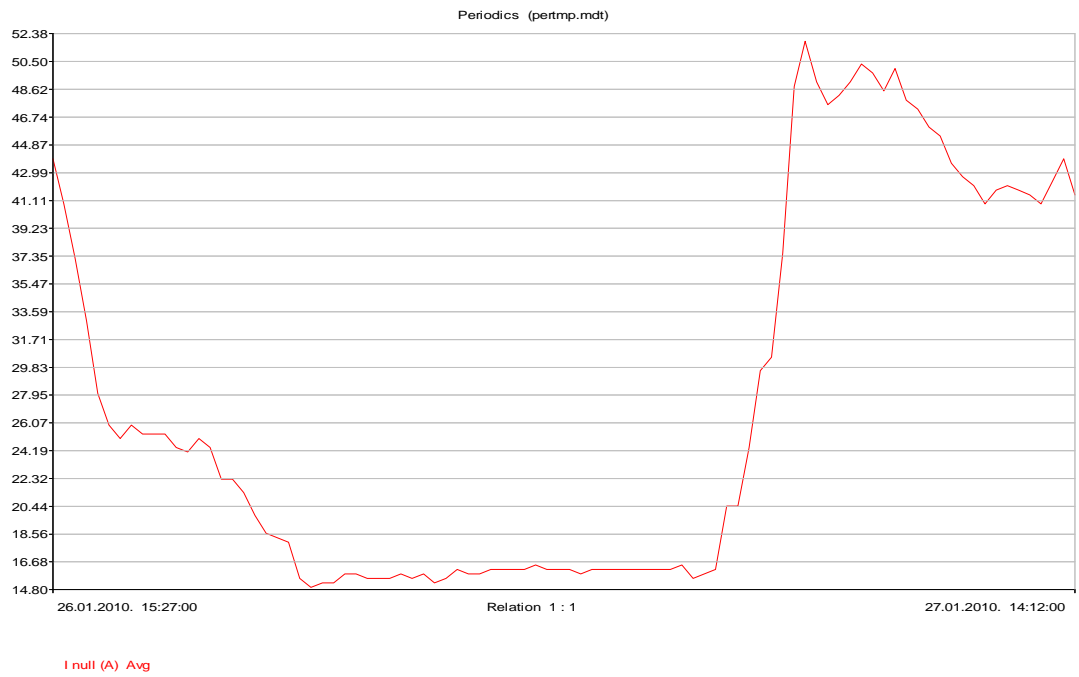
A-rakennusken LNKIN syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



A-rakennusken LNKIN syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

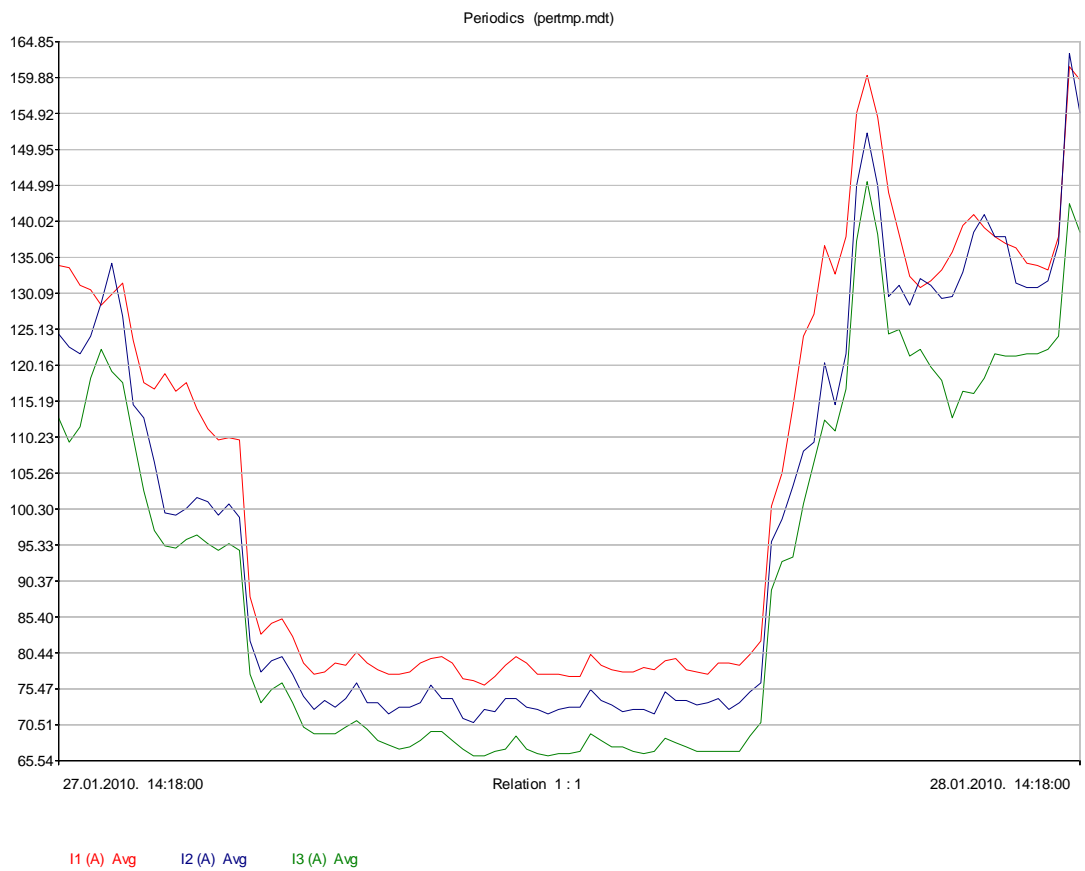


A-rakennusken LNKIN nollajohtimen virta.

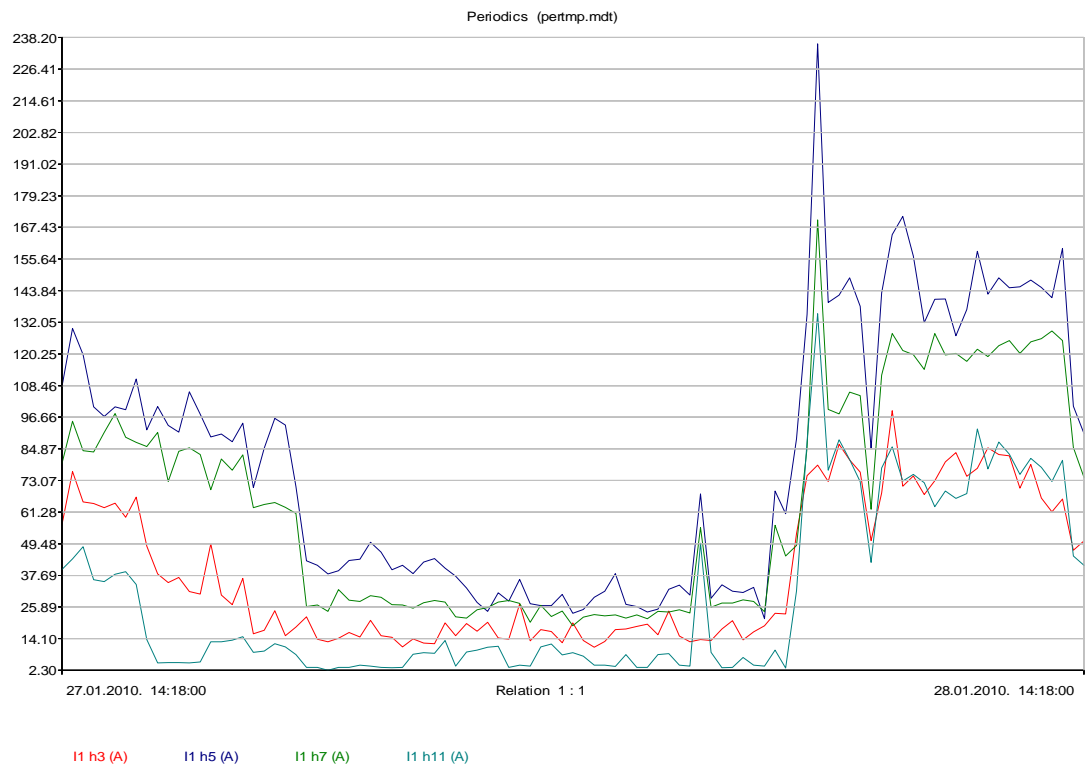


Liite 2

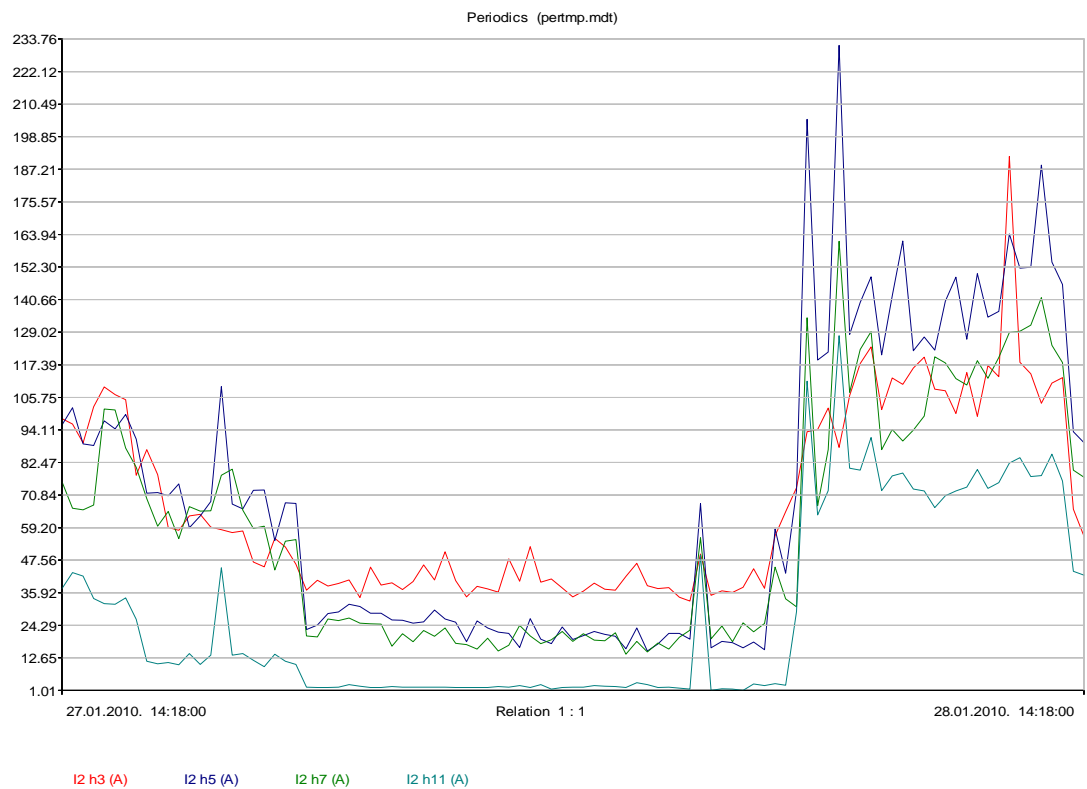
A-rakennuksen LNKIP syötön virrat.



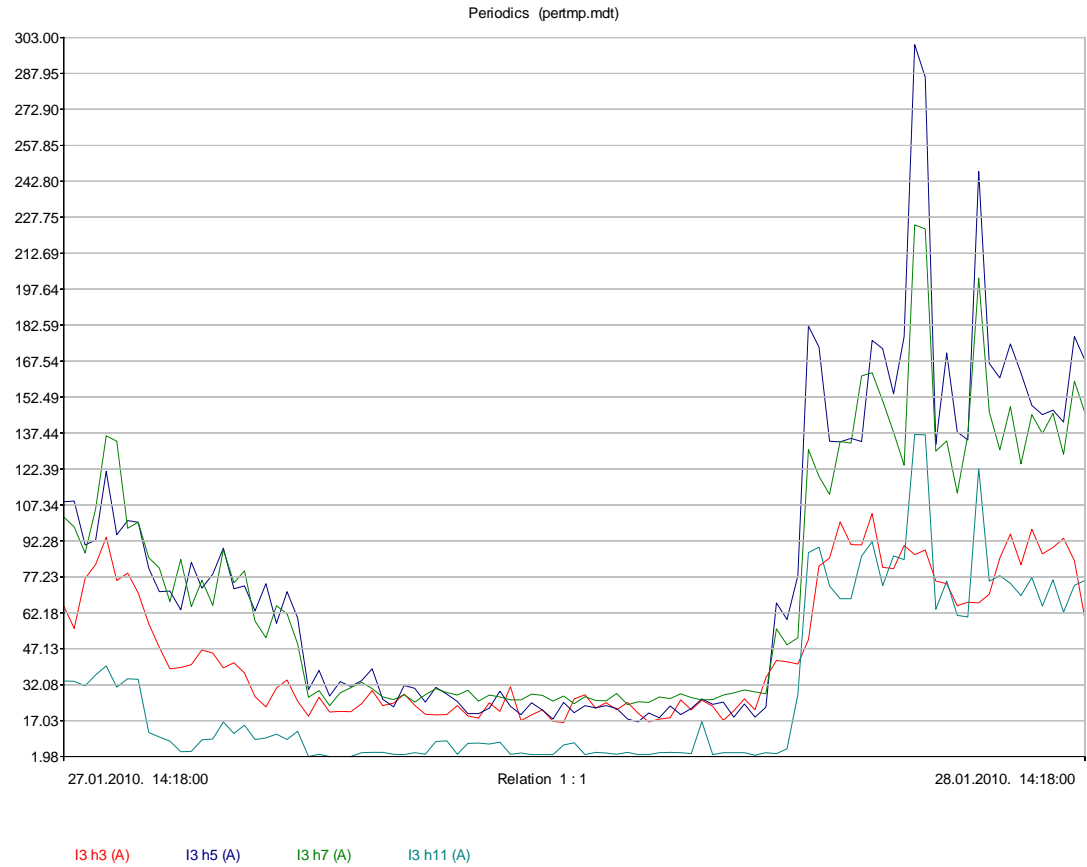
A-rakennuksen LNKIP syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



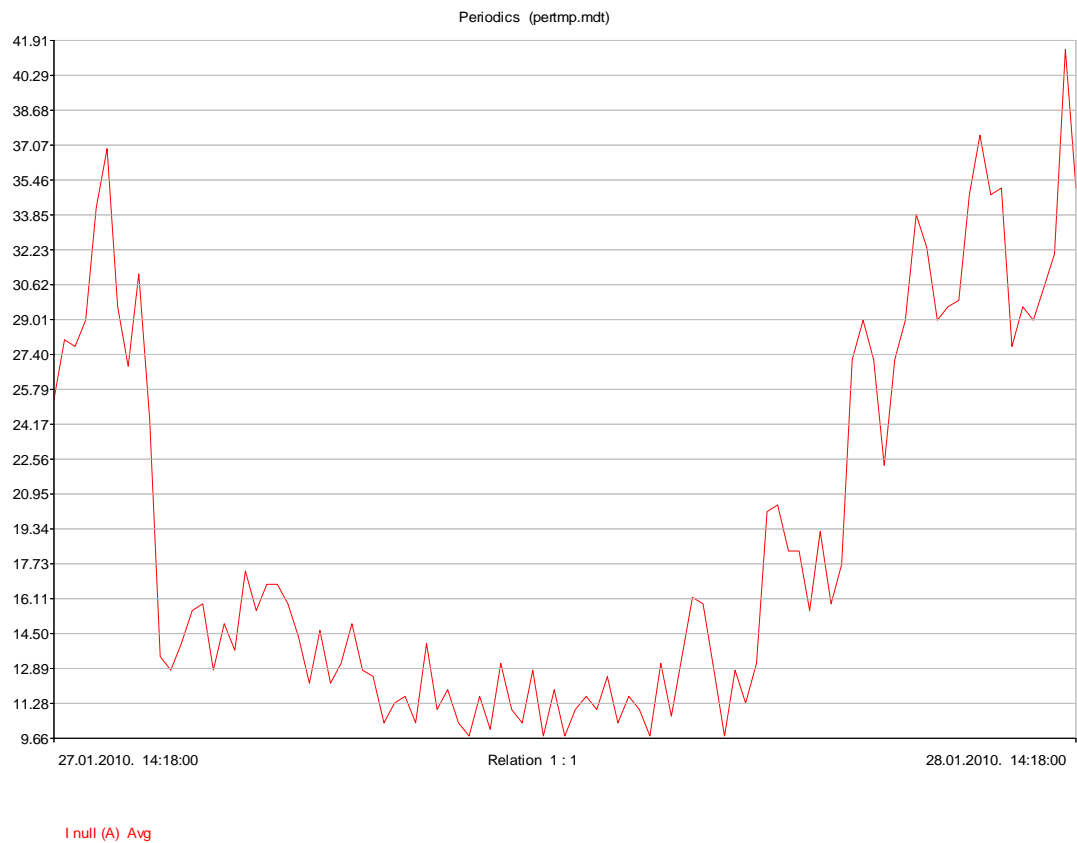
A-rakennuksen LNKIP syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



A-rakennuksen LNKIP syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

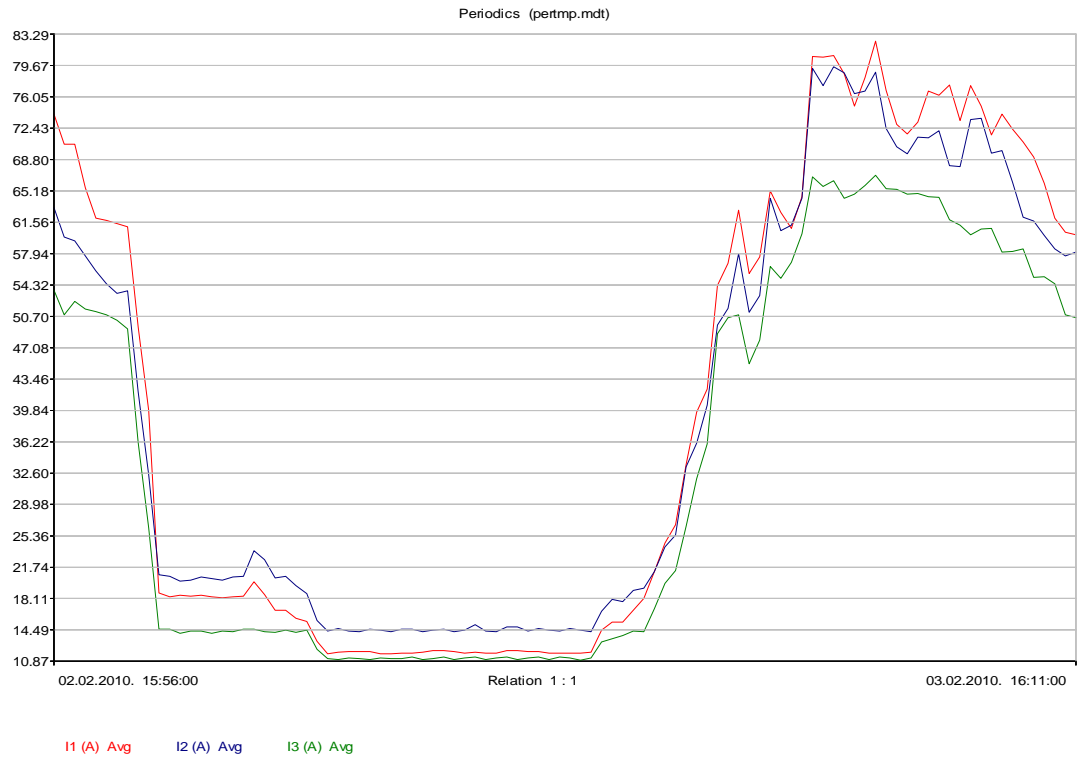


A-rakennuksen LNKIP nollajohtimen virta.

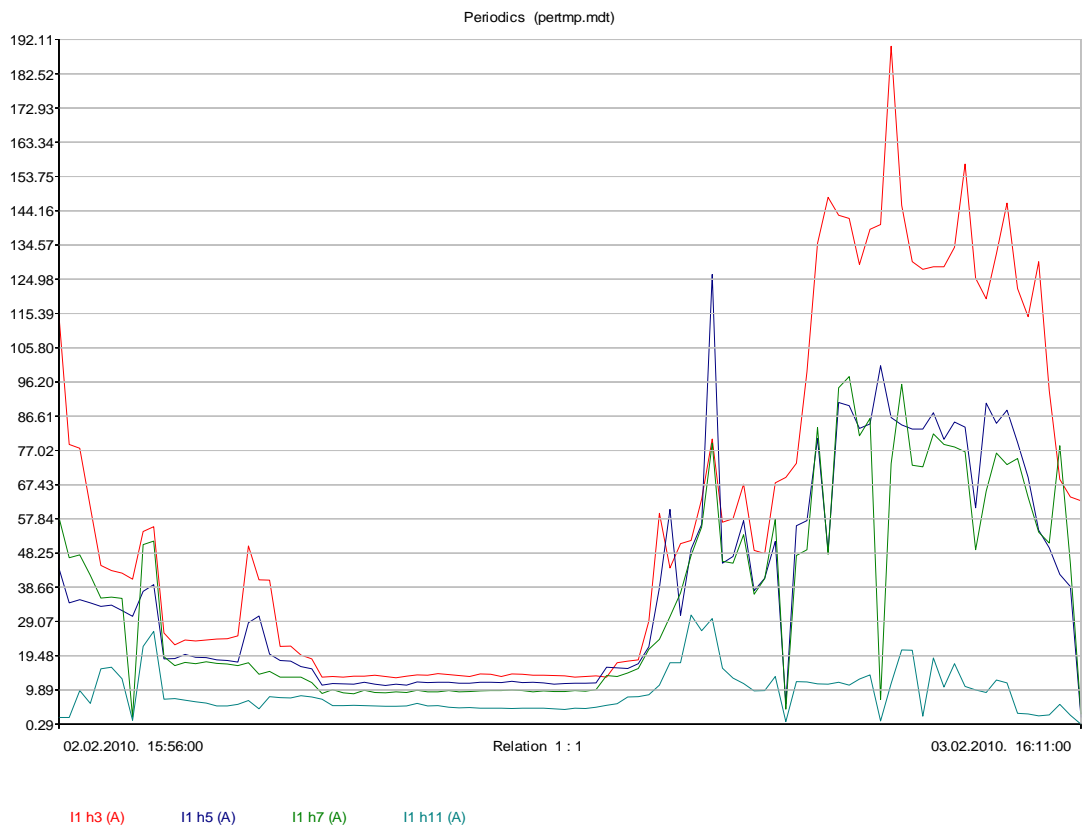


Liite 3

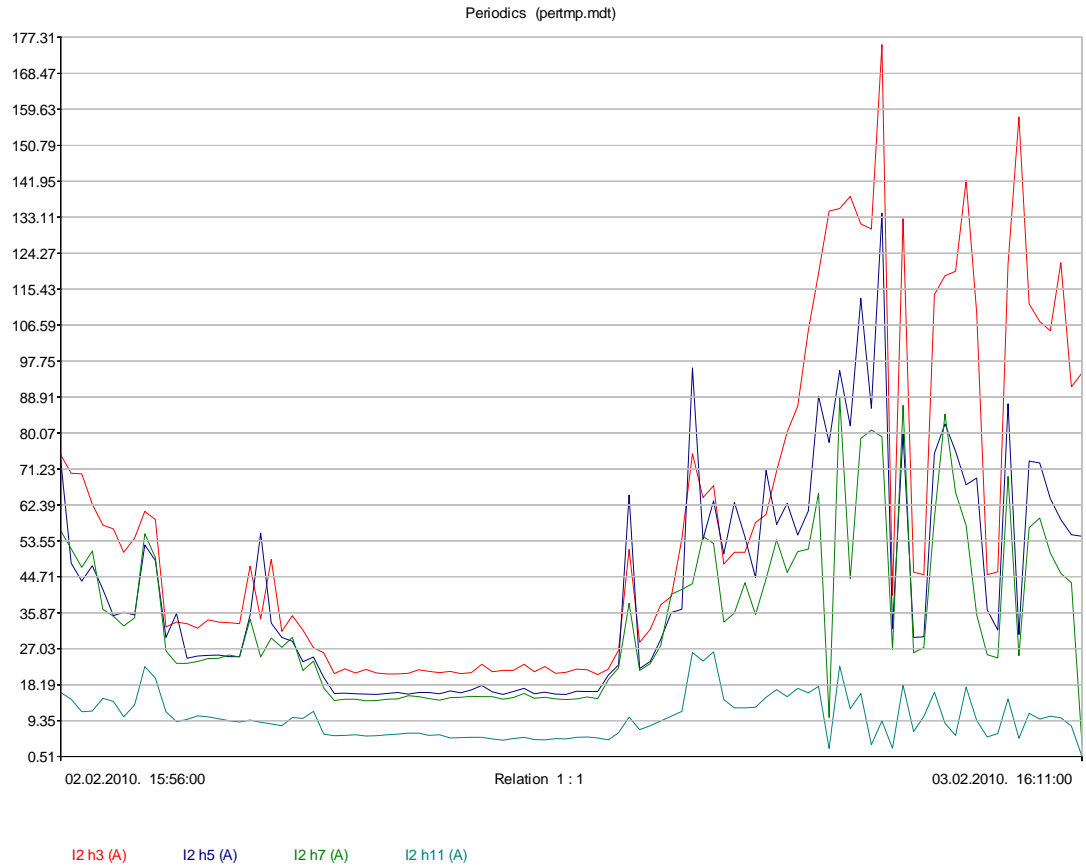
C-rakennuksen syötön virrat.



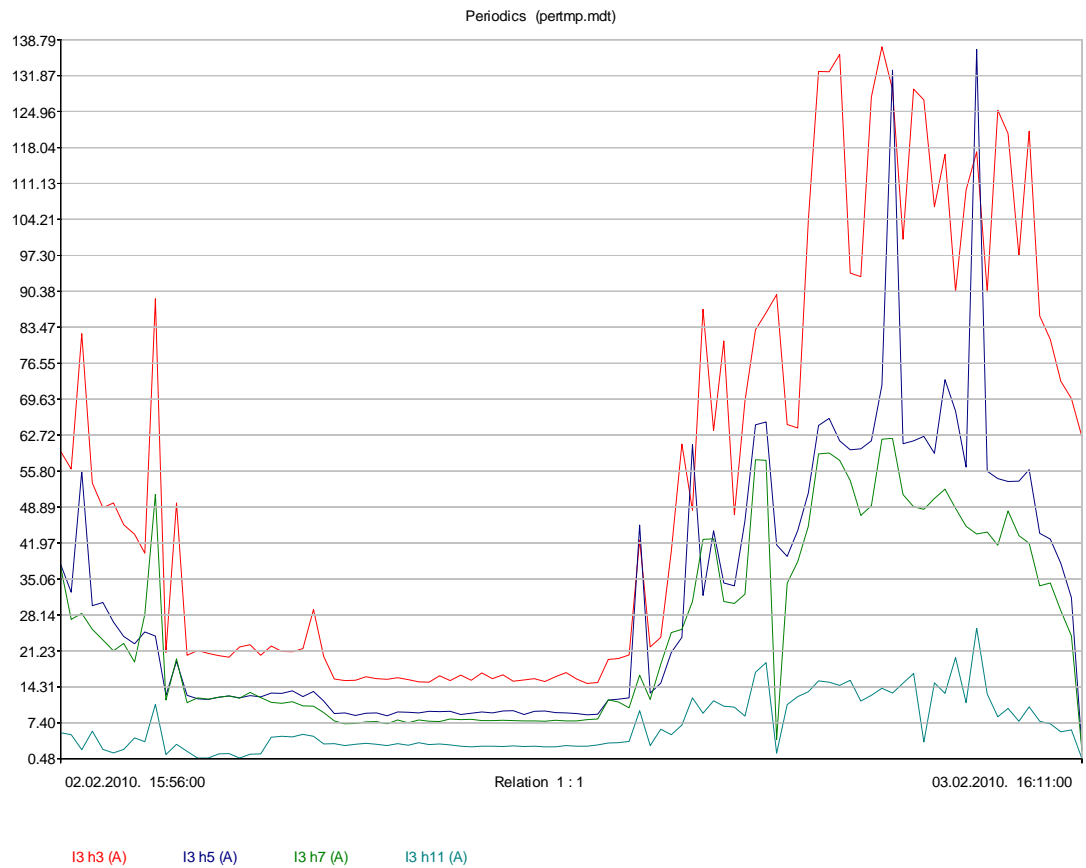
C-rakennuksen syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



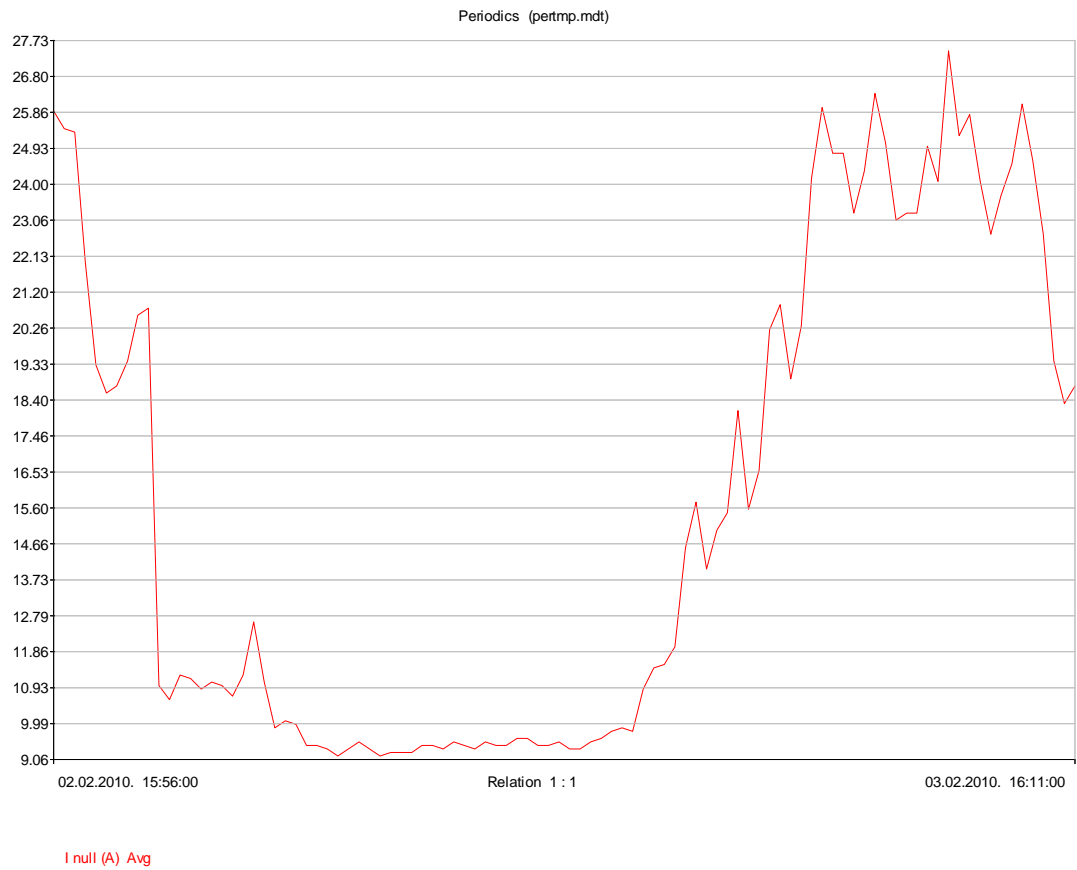
C-rakennuksen syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



C-rakennuksen syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

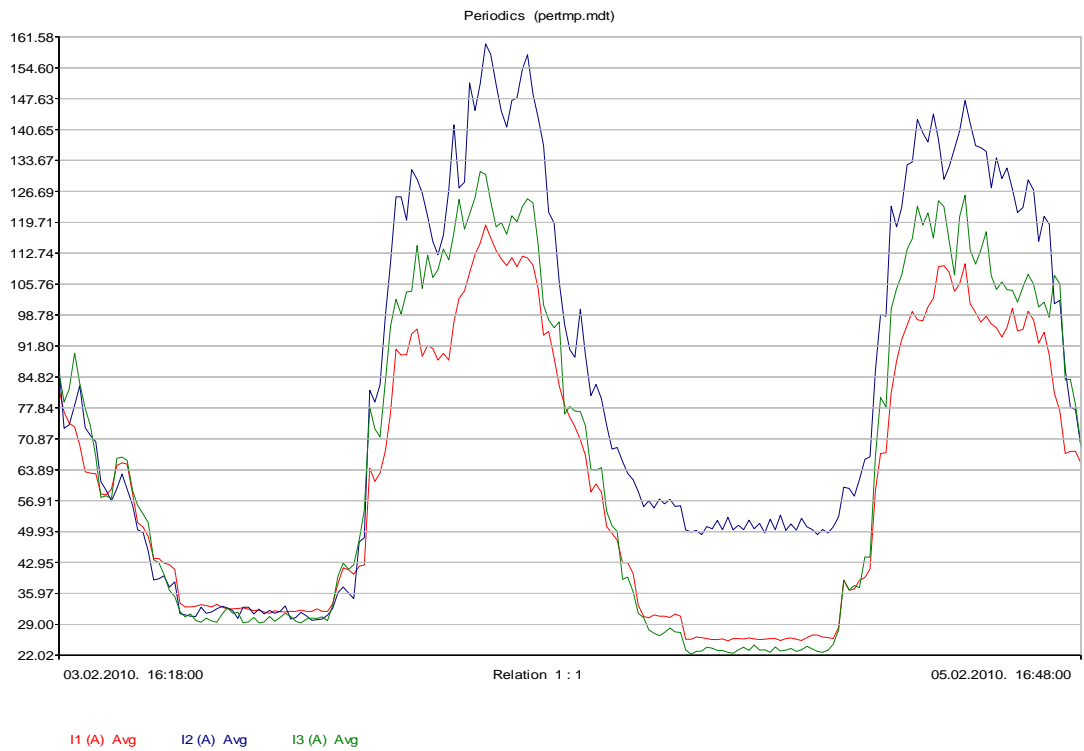


C-rakennuksen nollajohtimen virta.

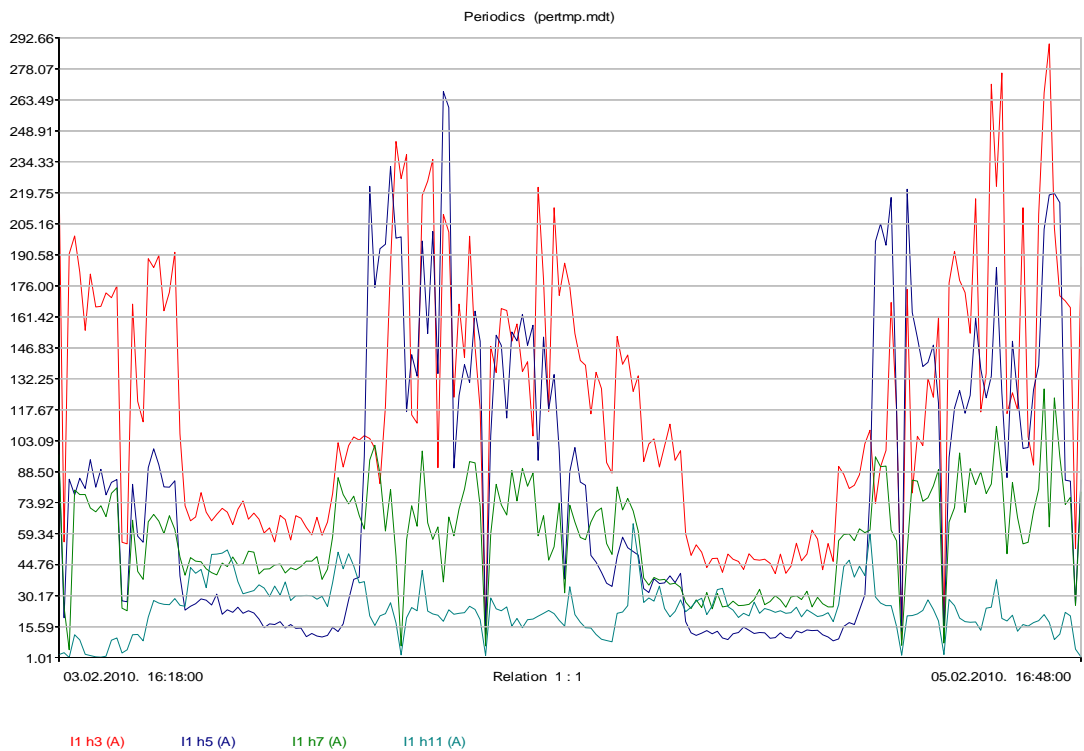


Liite 4

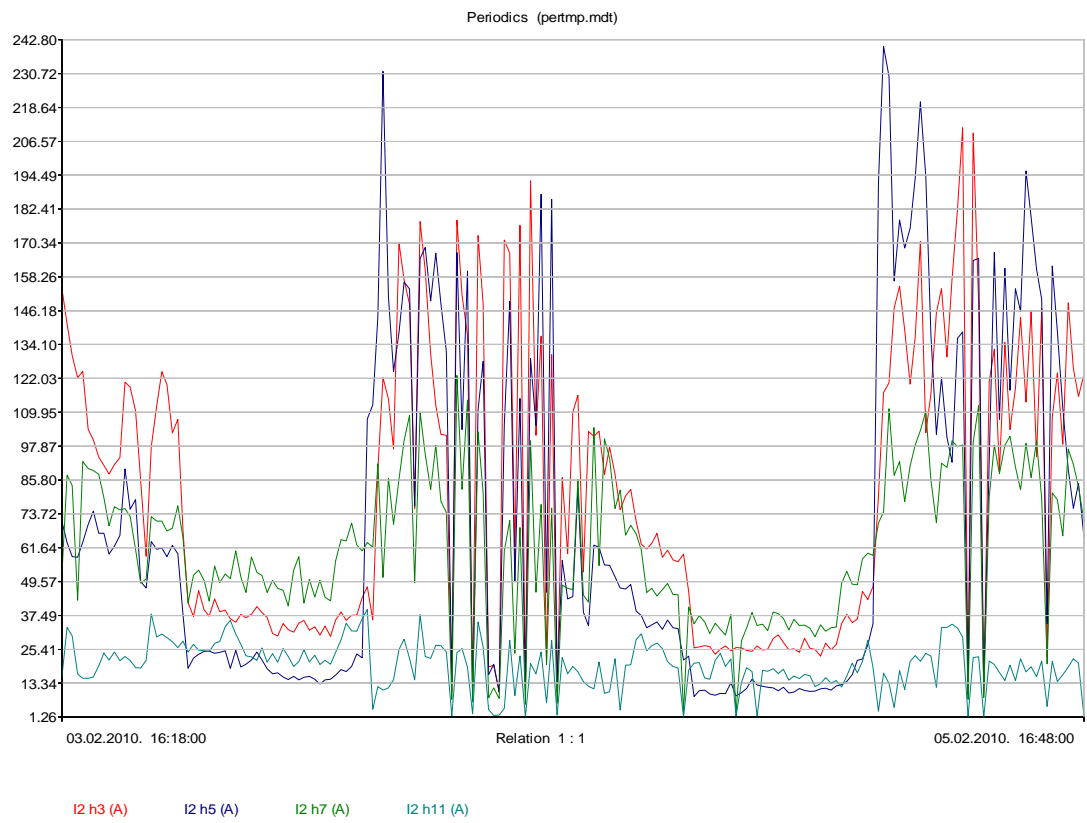
D-rakennuksen syötön virrat.



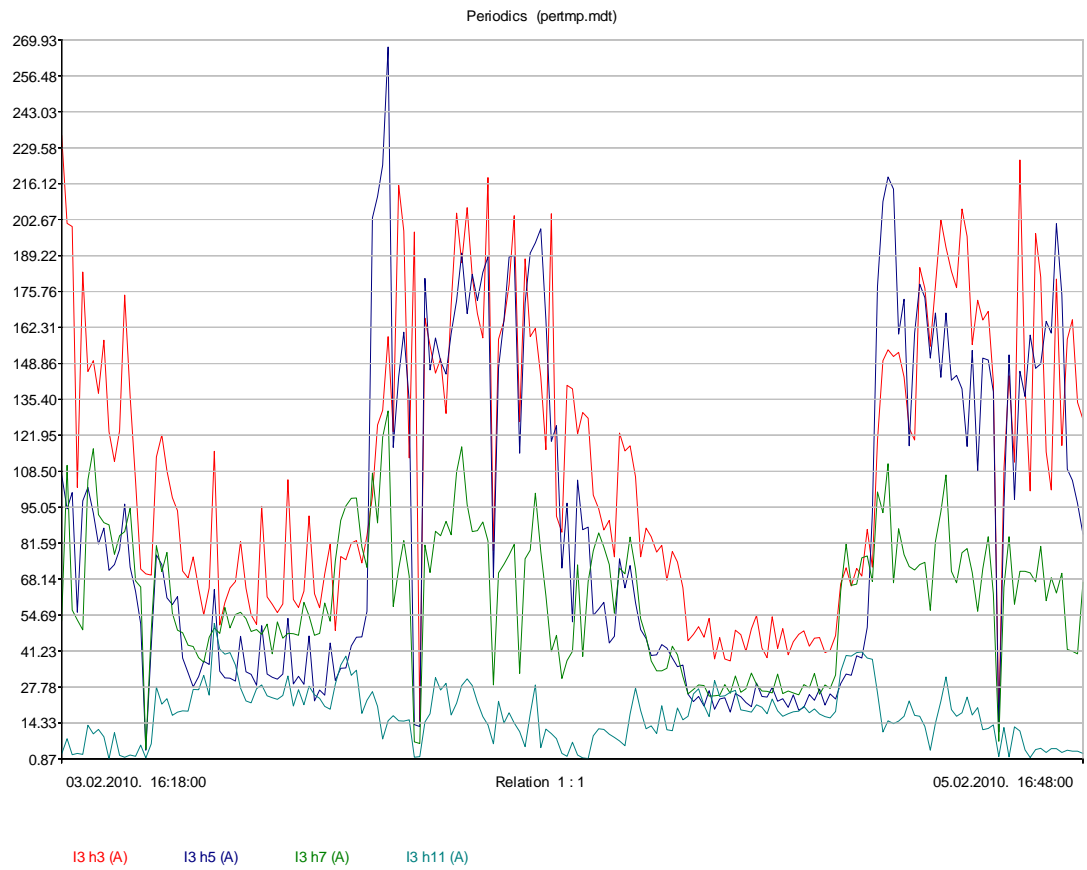
D-rakennuksen syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



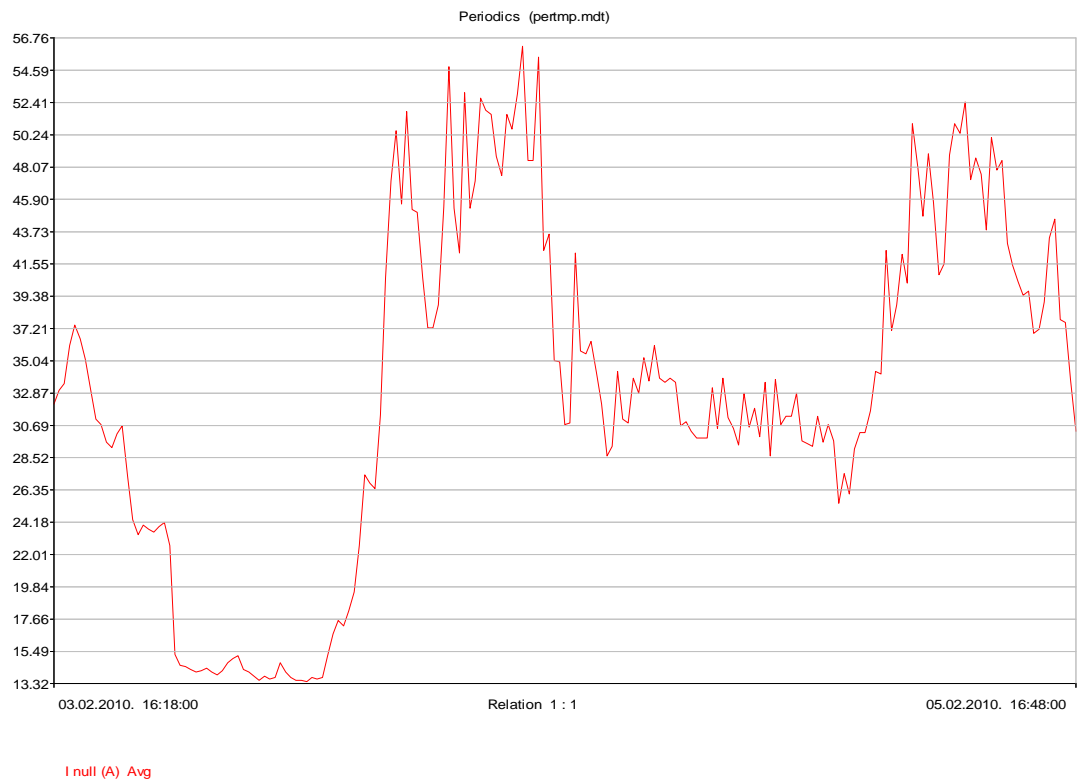
D-rakennuksen syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



D-rakennuksen syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

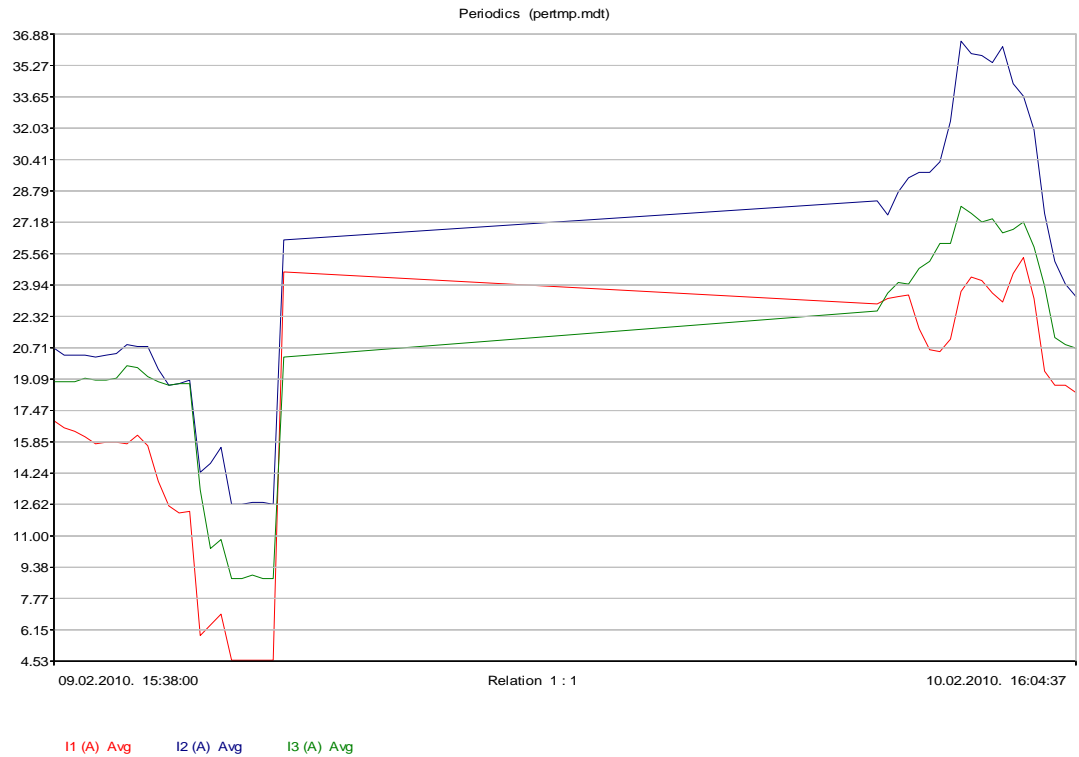


D-rakennuksen nollajohtimen virta.



Liite 5

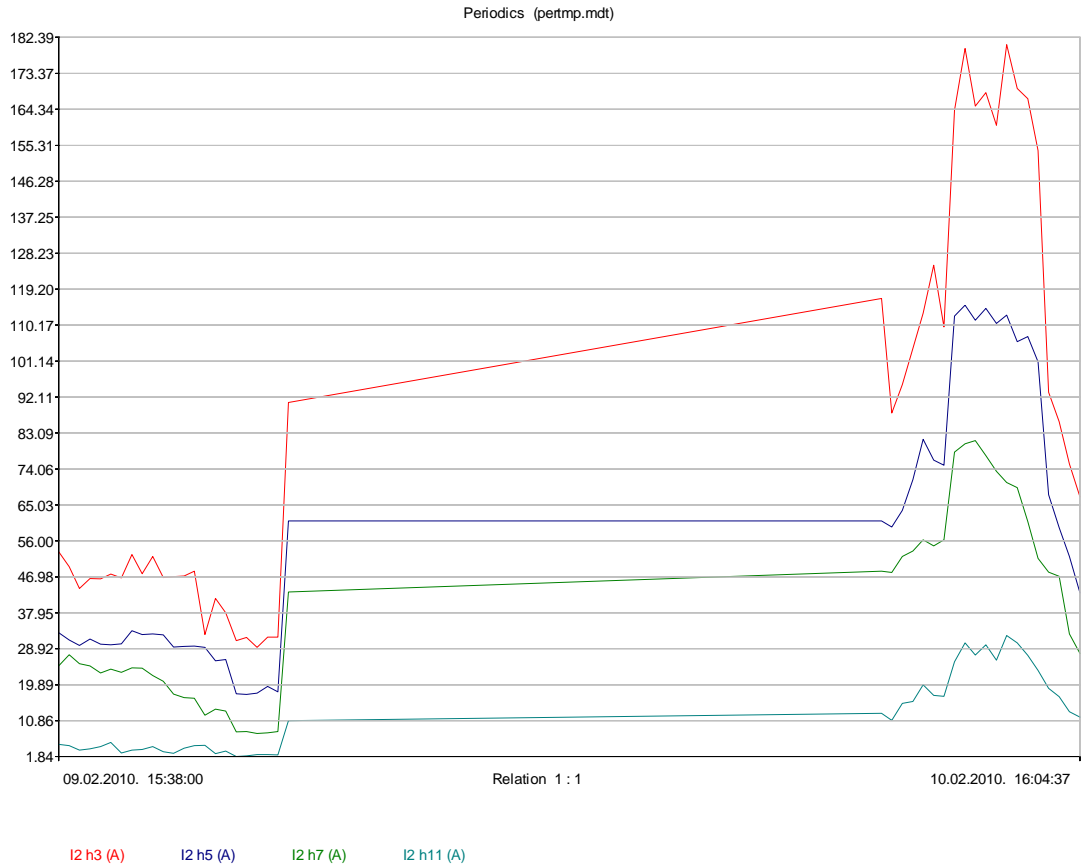
E-rakennuksen alakerran ja 1.kerroksen syötön virrat.



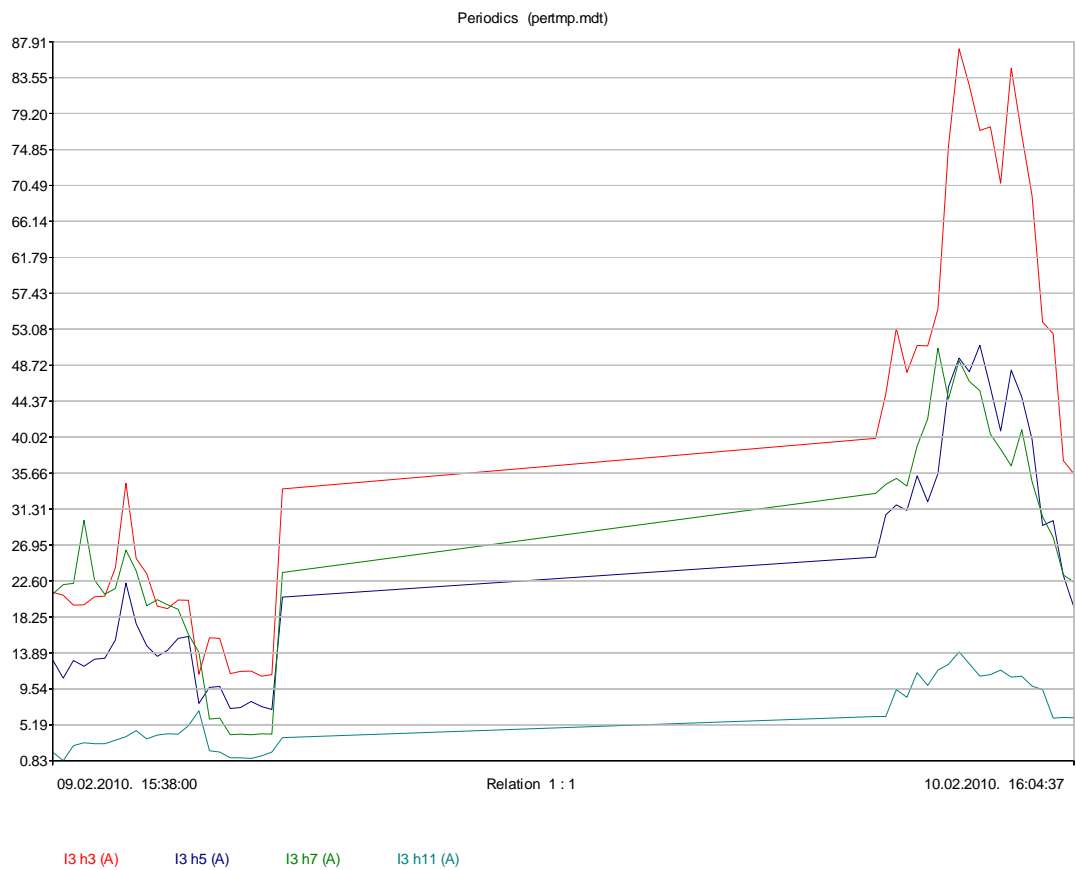
E-rakennuksen alakerran ja 1.kerroksen syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



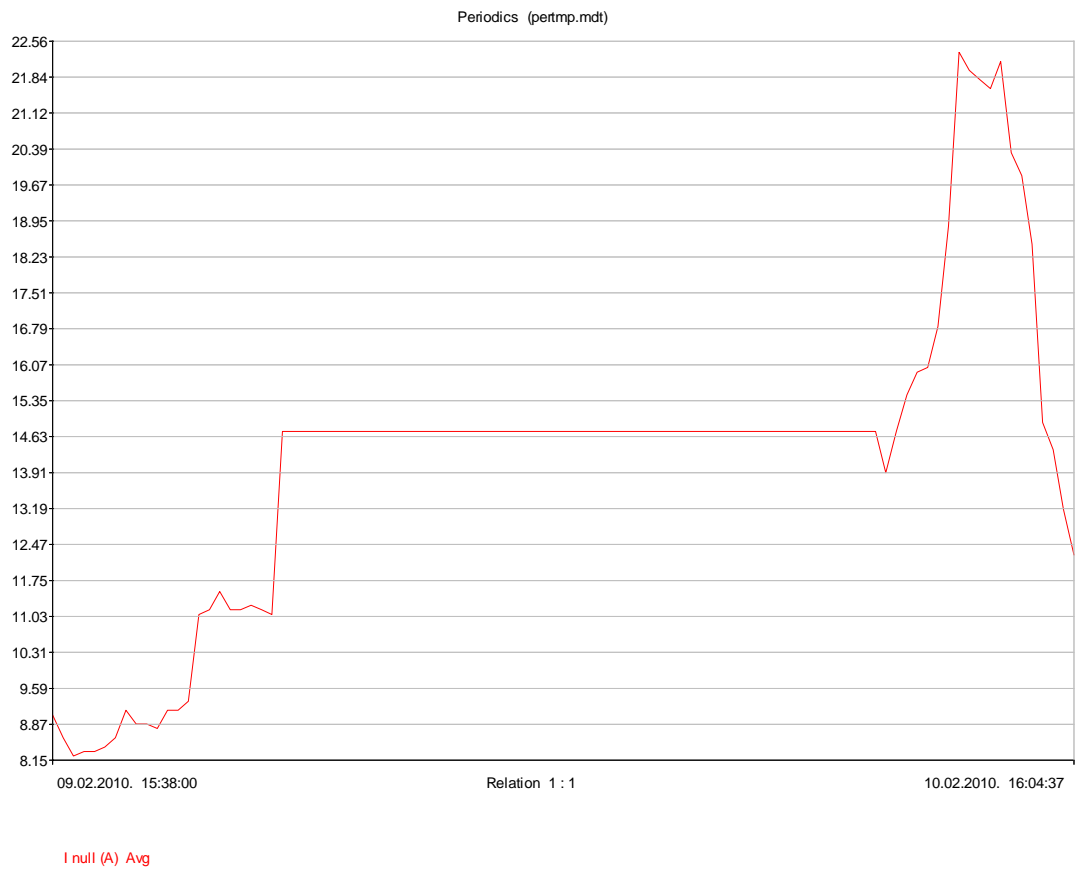
E-rakennuksen alakerran ja 1.kerroksen syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



E-rakennuksen alakerran ja 1.kerroksen syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

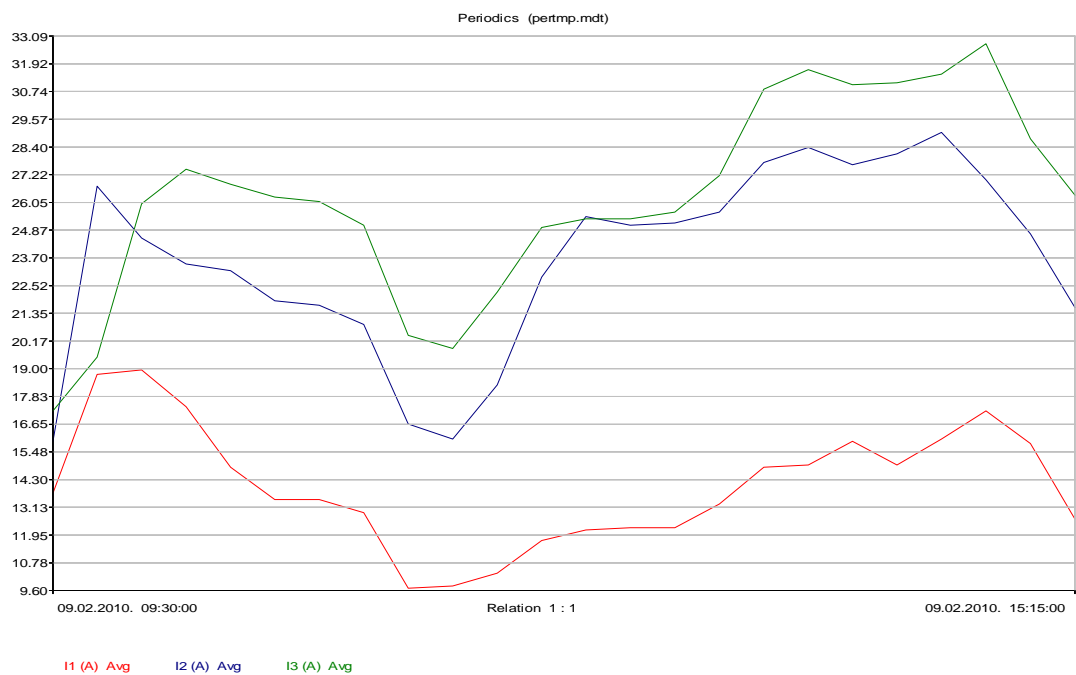


E-rakennuksen alakerran ja 1.kerroksen nollajohtimen virta.

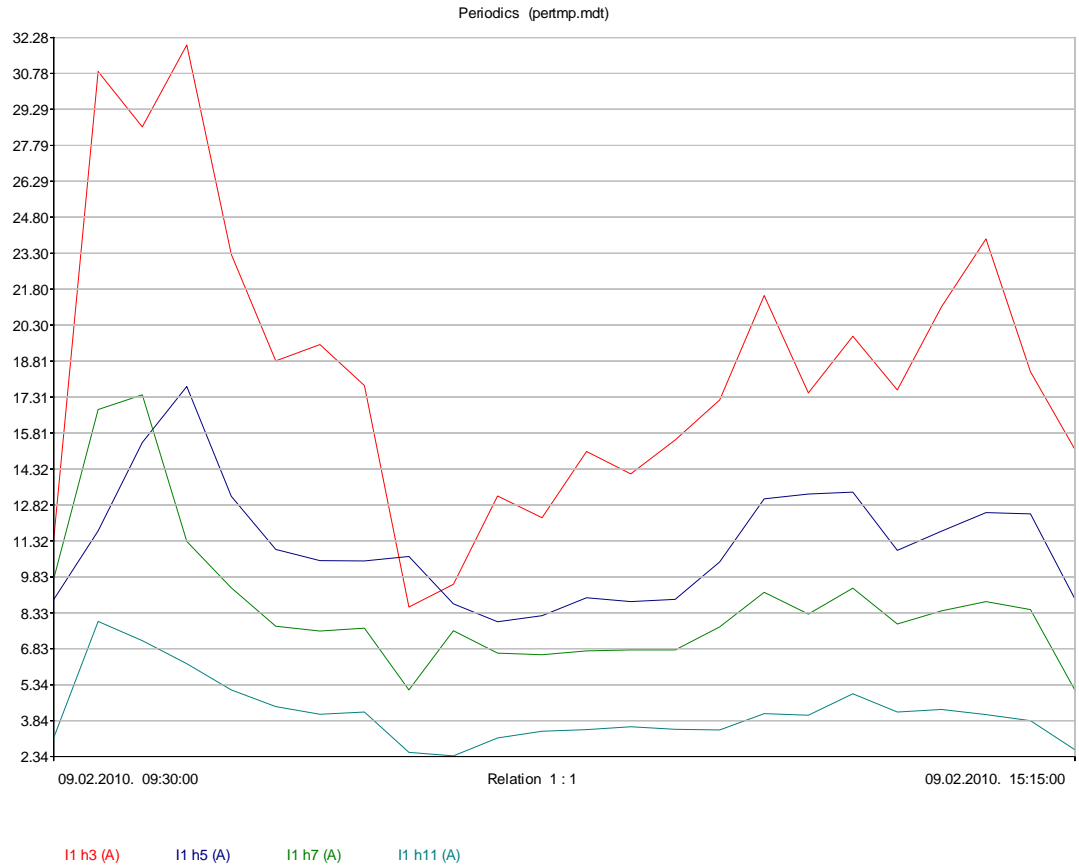


Liite 6

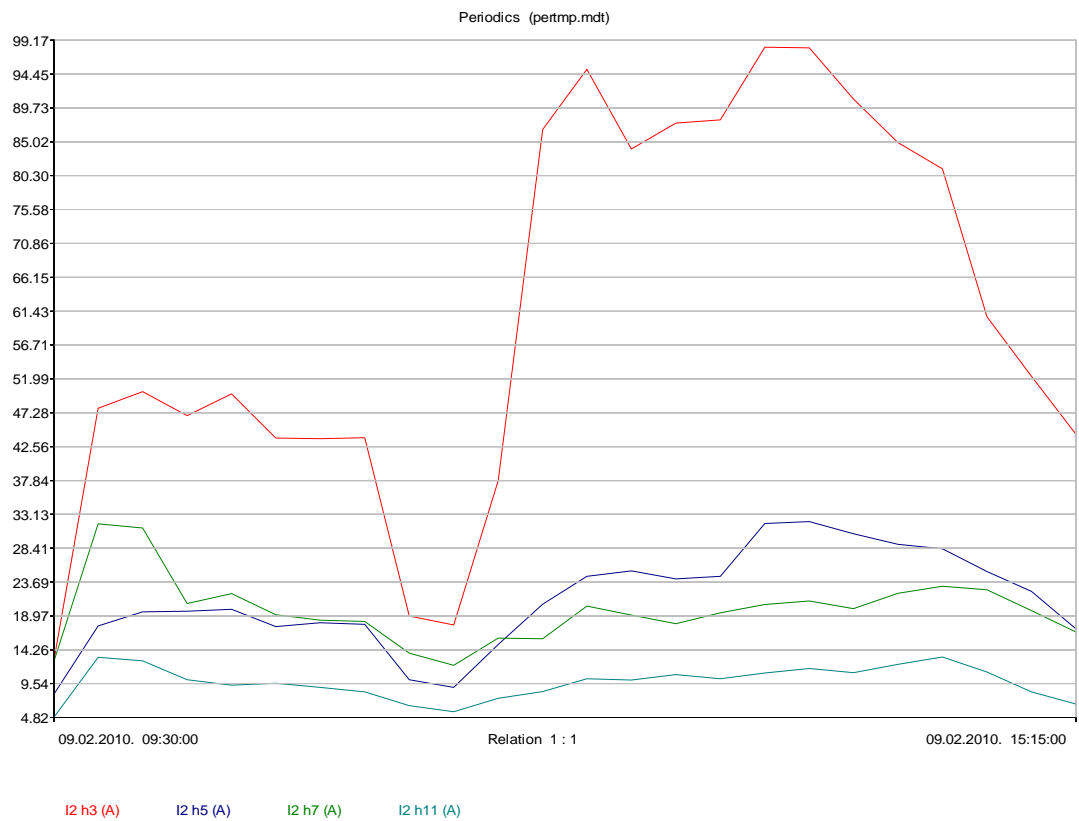
E-rakennuksen 2. ja 3.kerroksen syötön virrat.



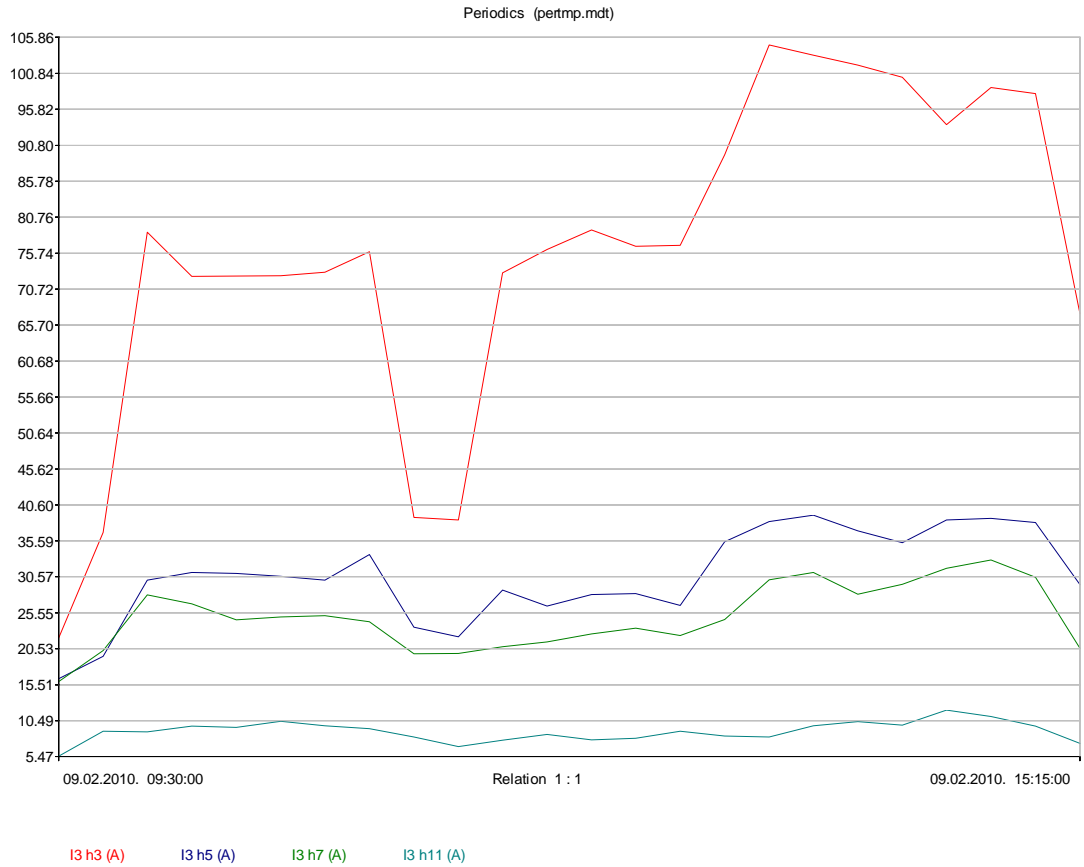
E-rakennuksen 2. ja 3.kerroksen syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



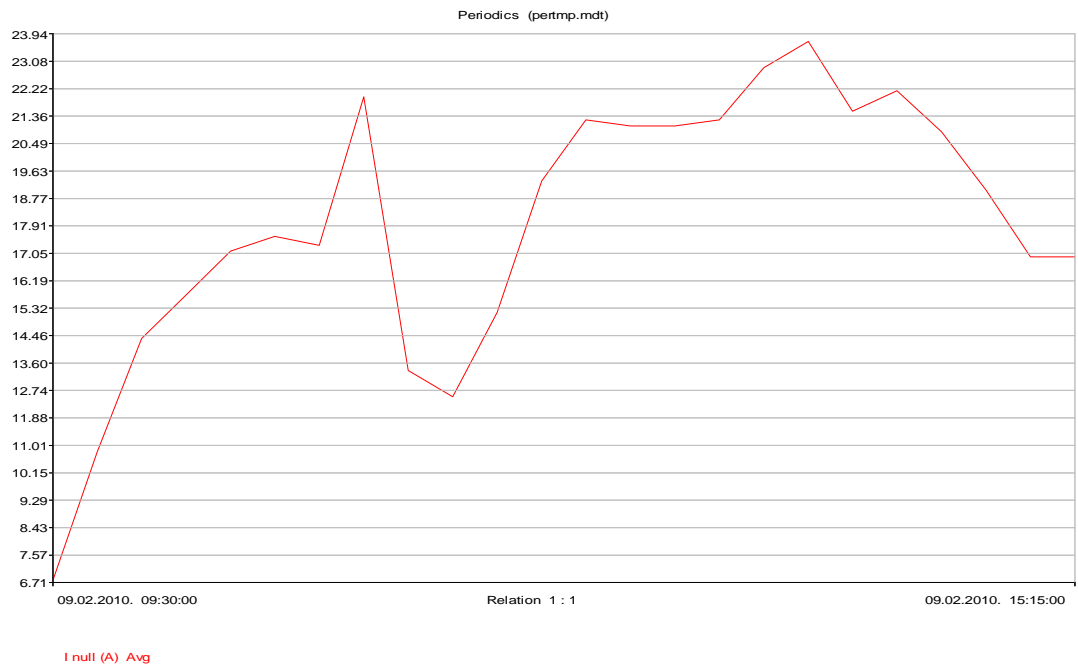
E-rakennuksen 2. ja 3.kerroksen syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



E-rakennuksen 2. ja 3.kerroksen syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

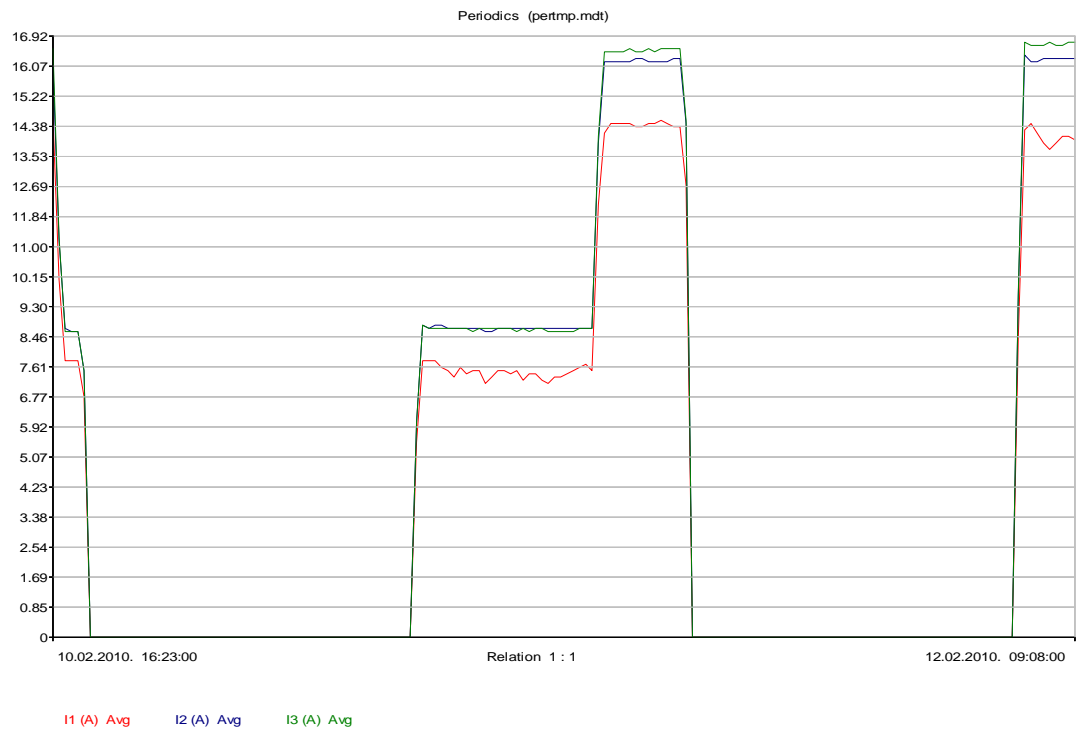


E-rakennuksen 2. ja 3.kerroksen nollajohtimen virta.

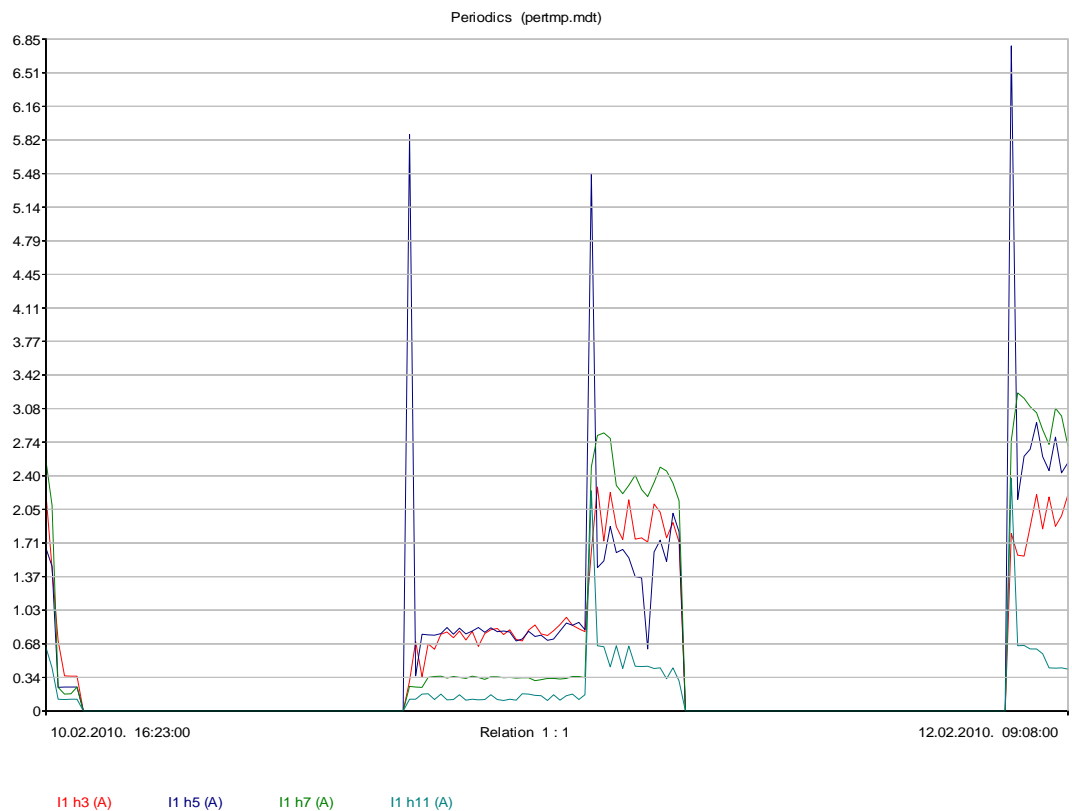


Liite 7

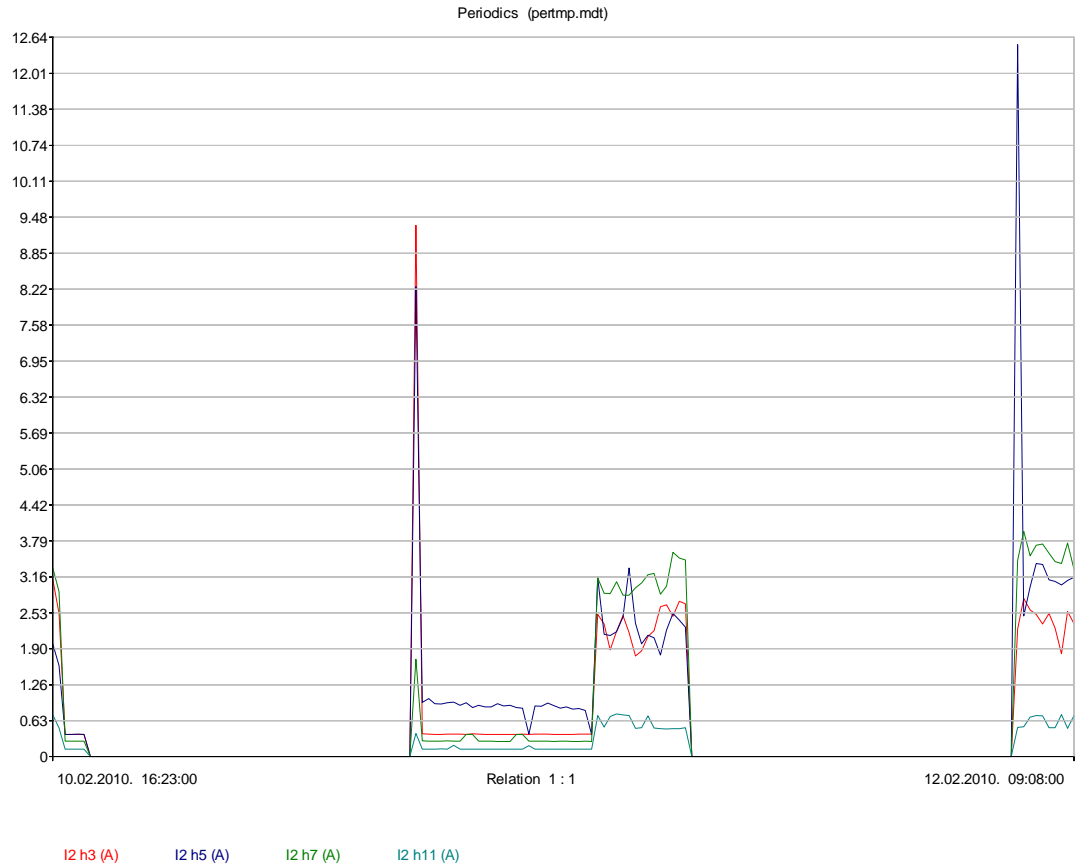
E-rakennuksen yläkerran ilmastoinnin syötön virrat.



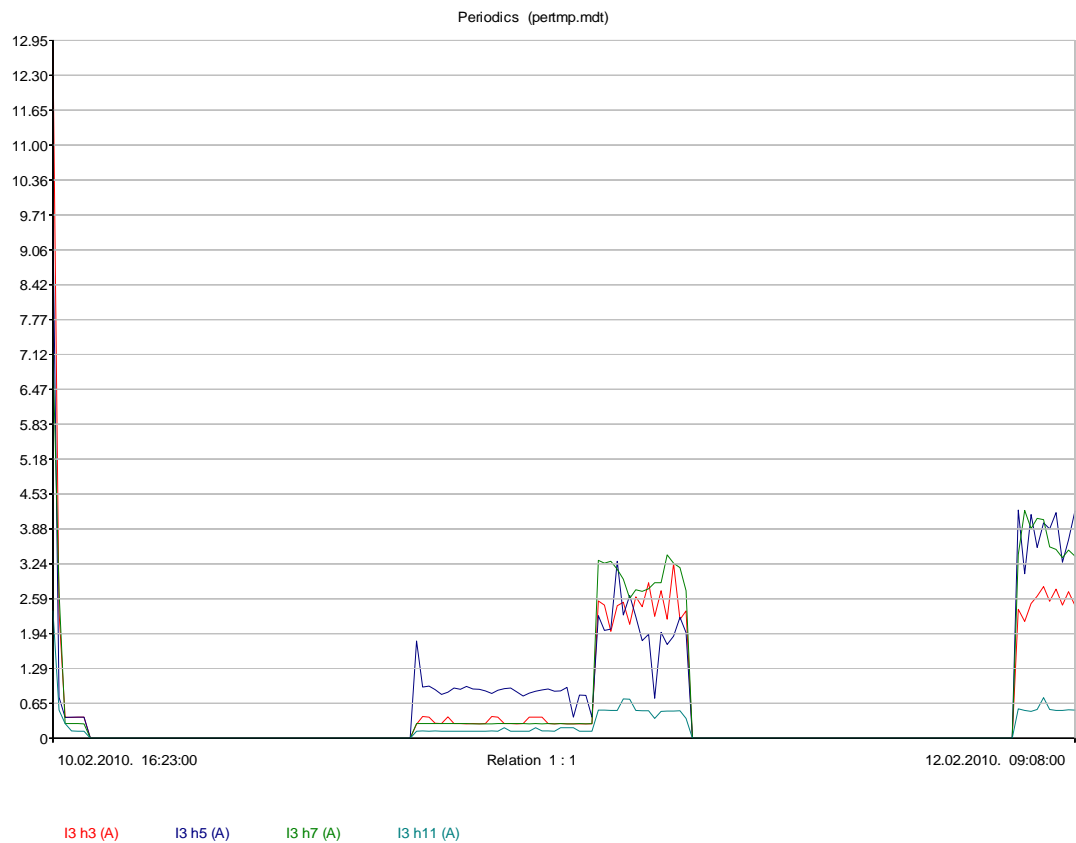
E-rakennuksen yläkerran ilmastoinnin syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



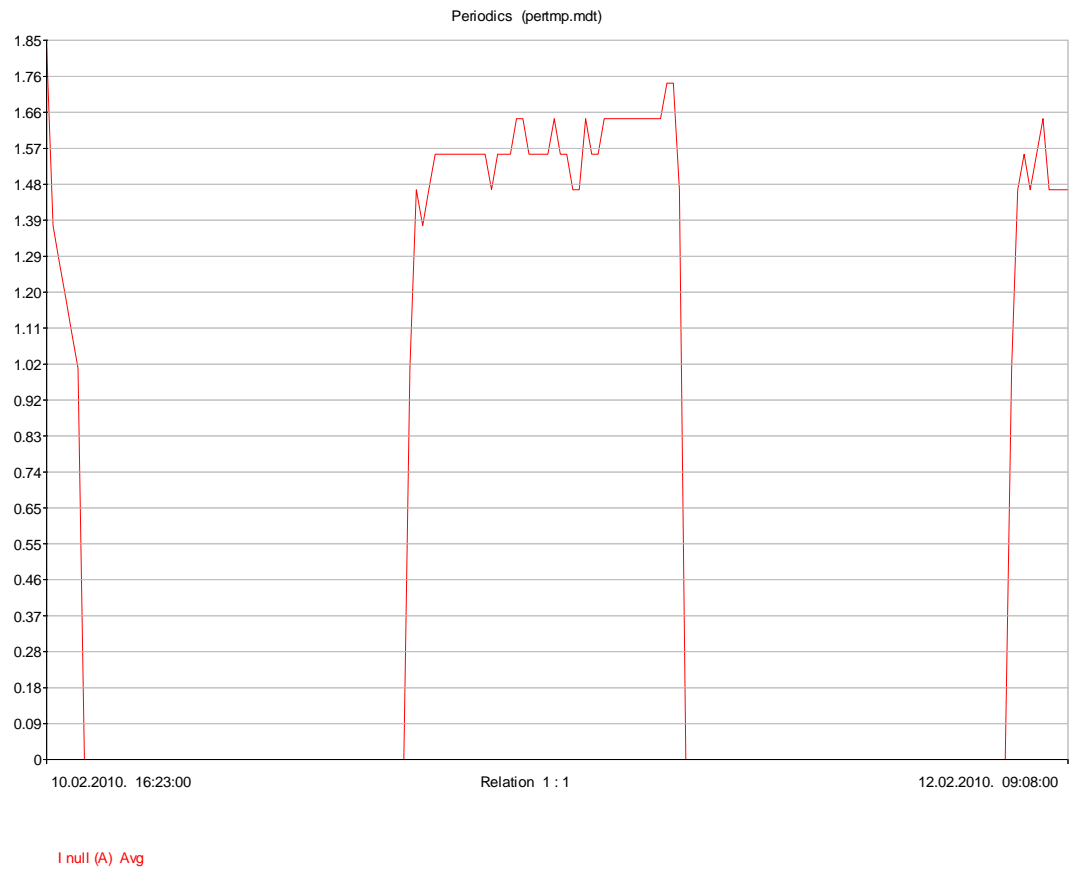
E-rakennuksen yläkerran ilmastoinnin syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



E-rakennuksen yläkerran ilmastoinnin syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

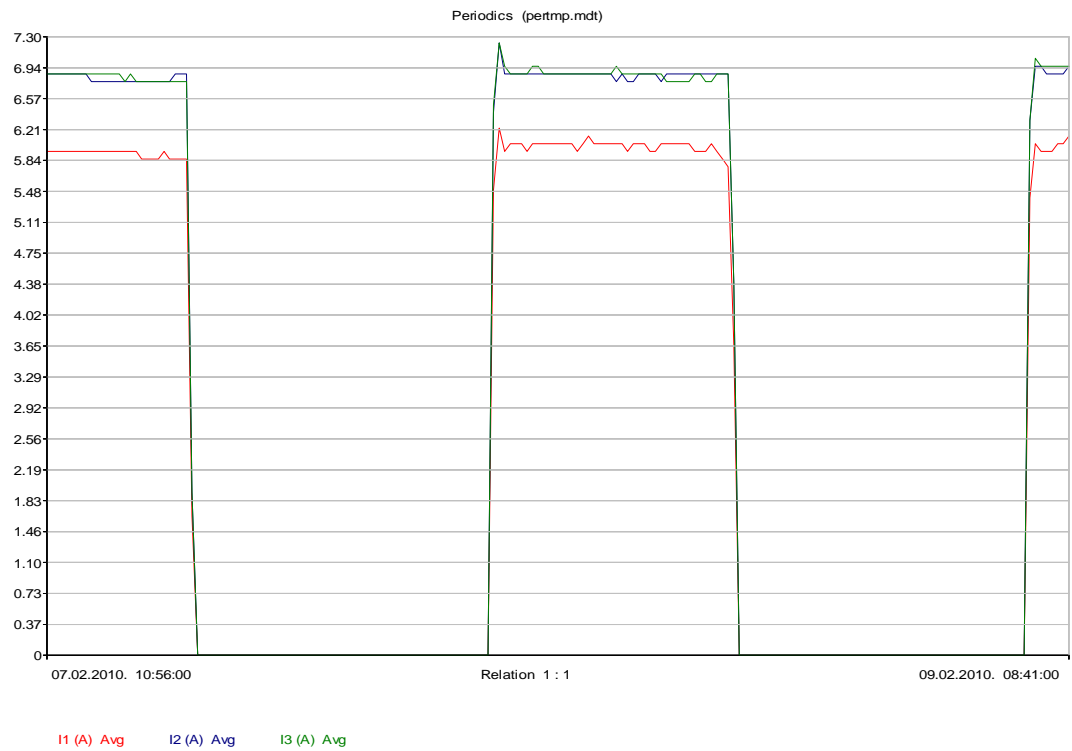


E-rakennuksen yläkerran ilmastoinnin nollajohtimen virta.



Liite 8

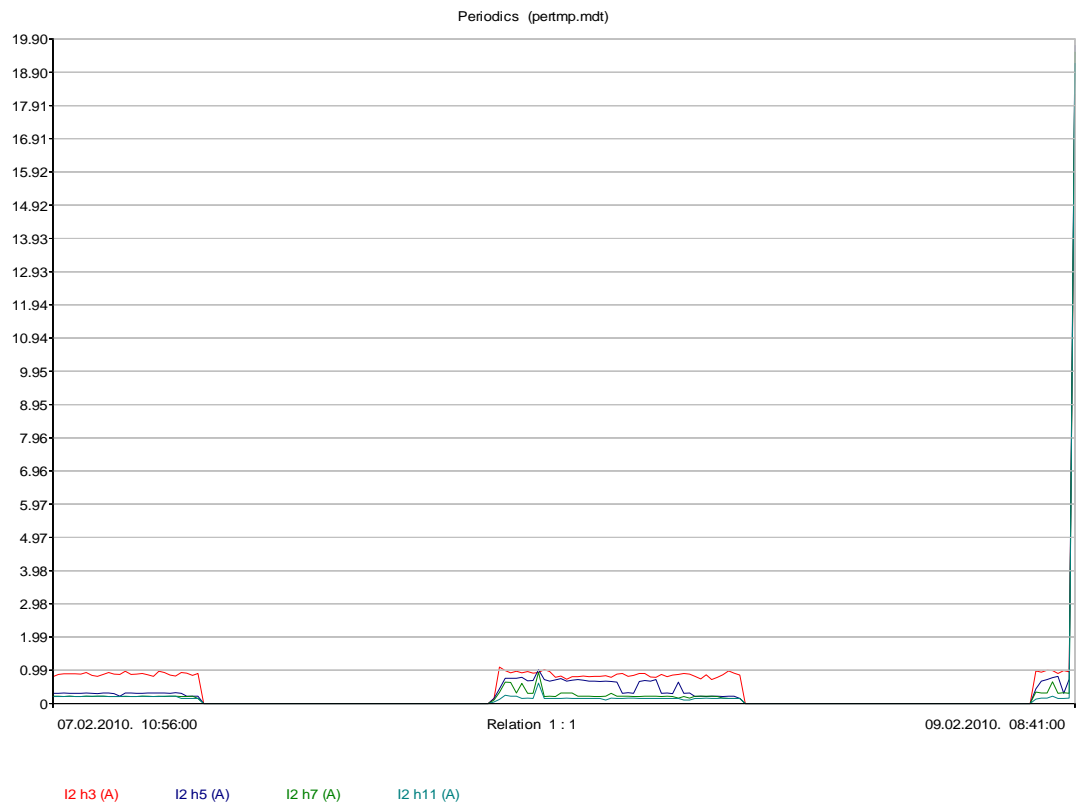
E-rakennuksen ilmanvaihtohuoneen syötön virrat.



E-rakennuksen ilmanvaihtuhuoneen syötön 1.vaiheen yliaaltovirrat.



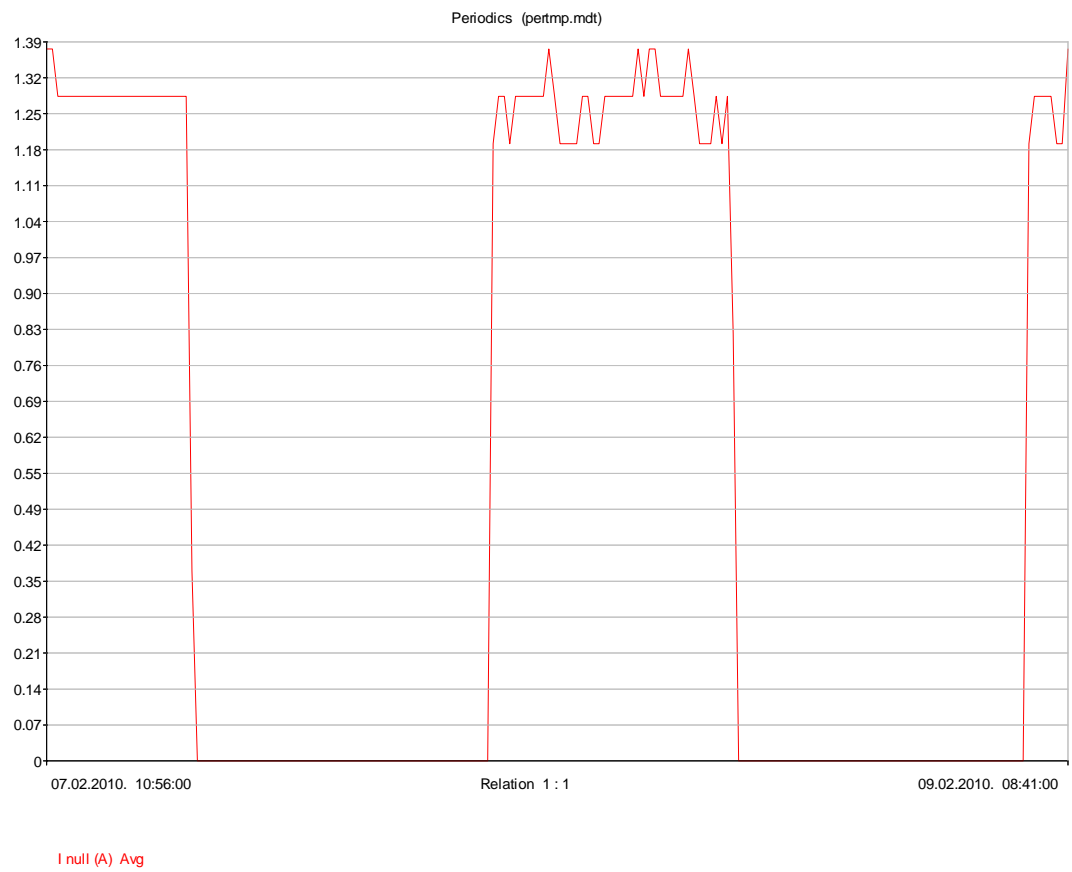
E-rakennuksen ilmanvaihtuhuoneen syötön 2.vaiheen yliaaltovirrat.



E-rakennuksen ilmanvaihtuhuoneen syötön 3.vaiheen yliaaltovirrat.

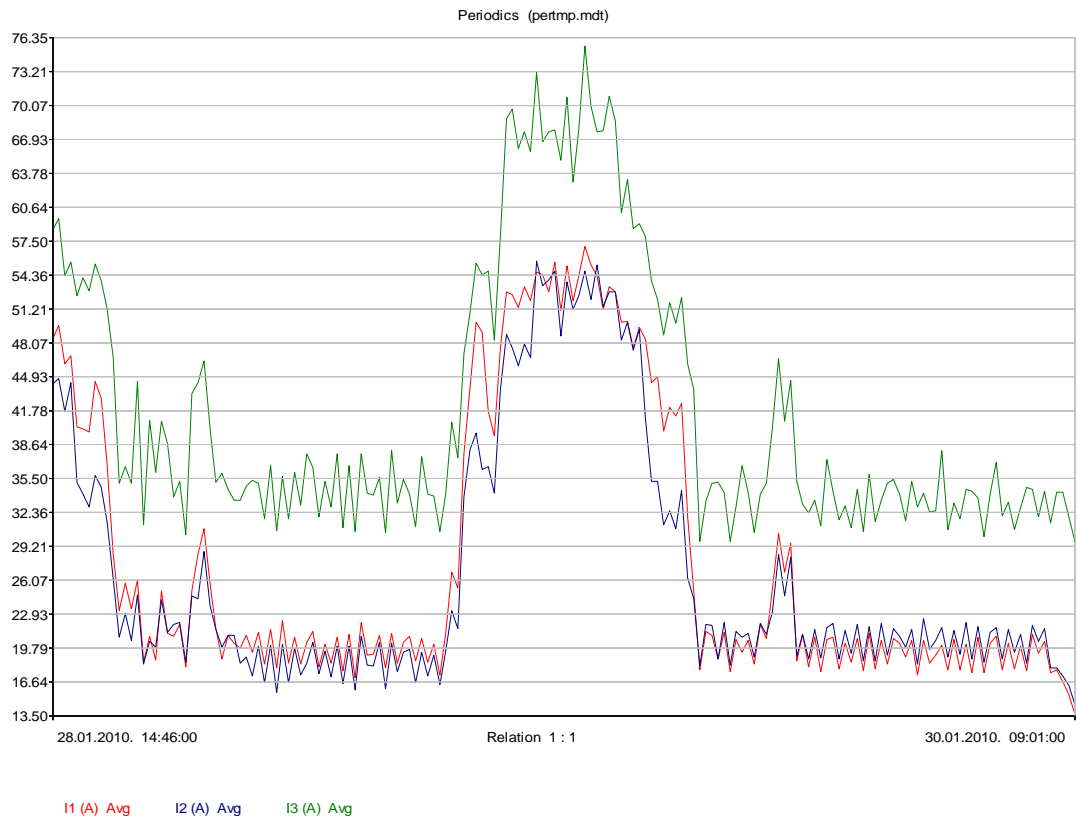


E-rakennuksen ilmanvaihtuhuoneen nollajohtimen virta.

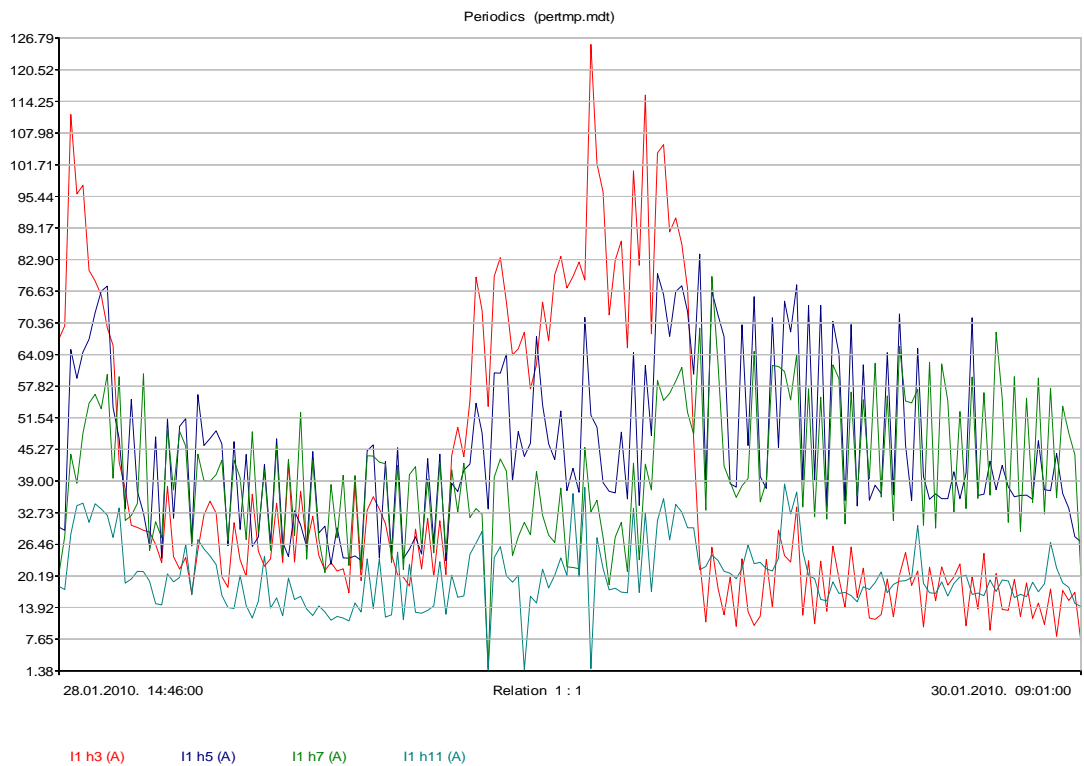


Liite 9

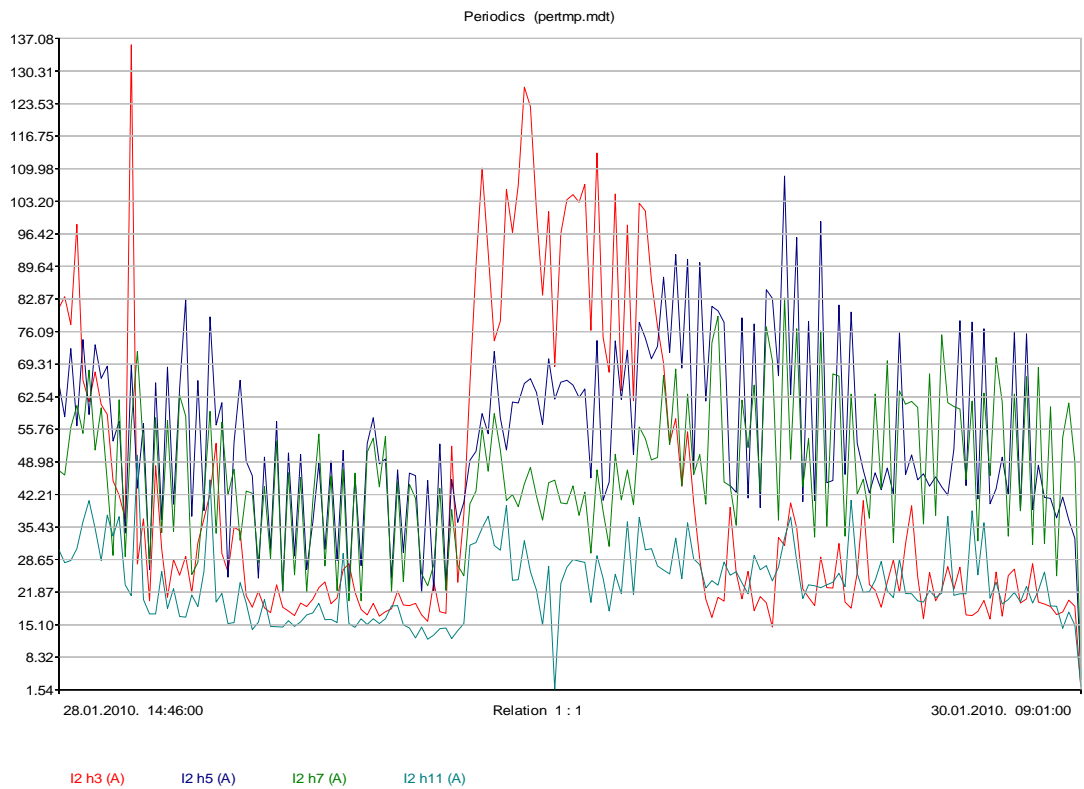
Kirjaston syötön virrat.



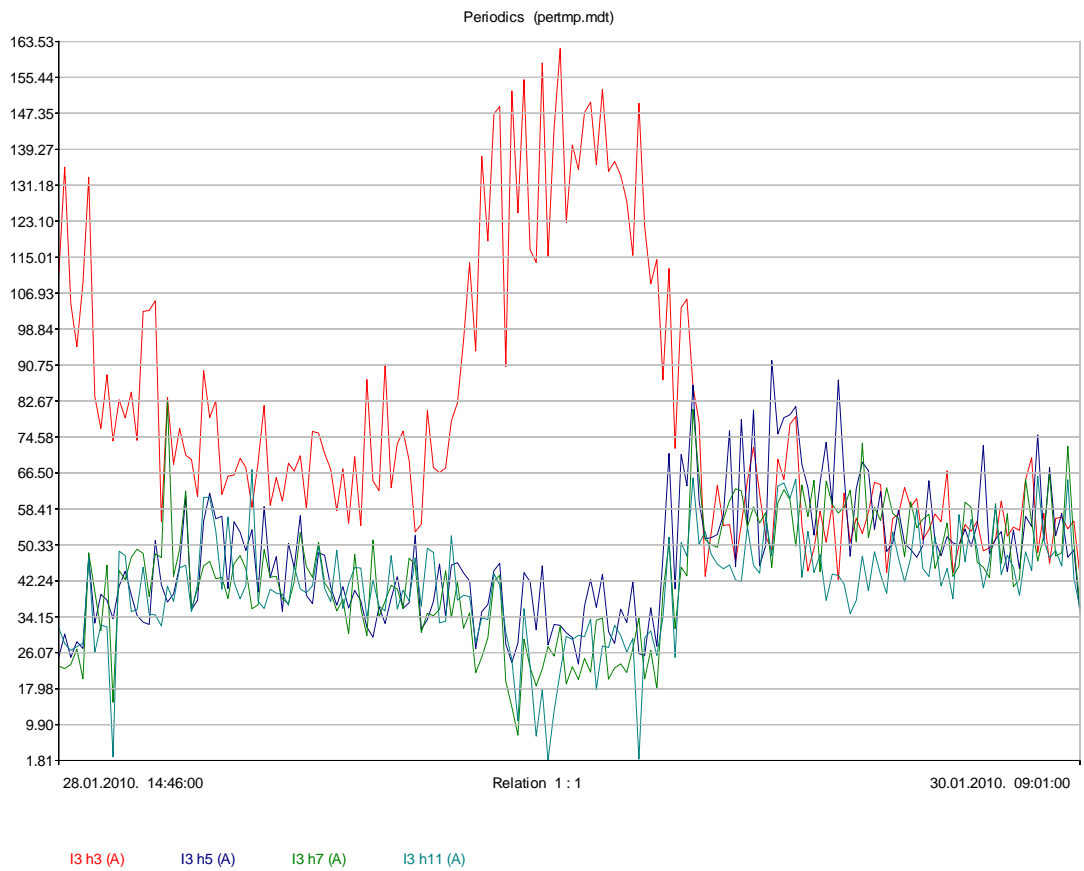
Kirjaston syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



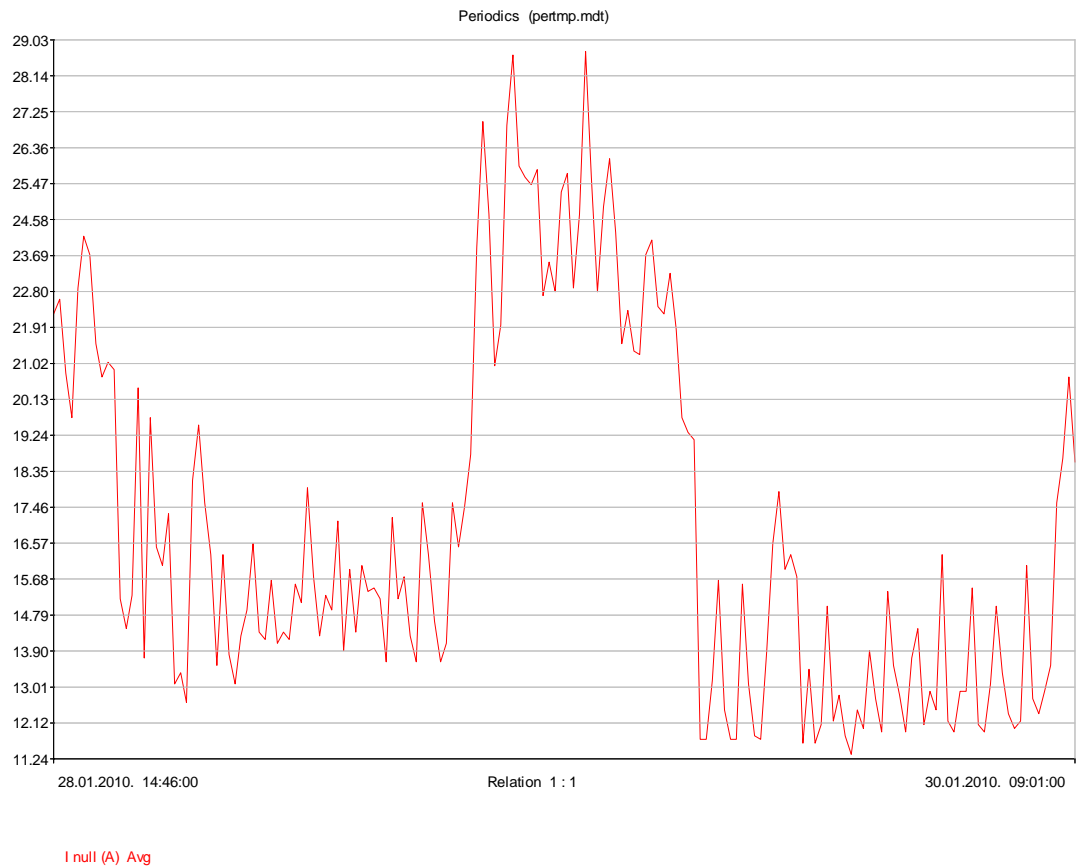
Kirjaston syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



Kirjaston syötön 3. vaiheen yliaaltovirrät.

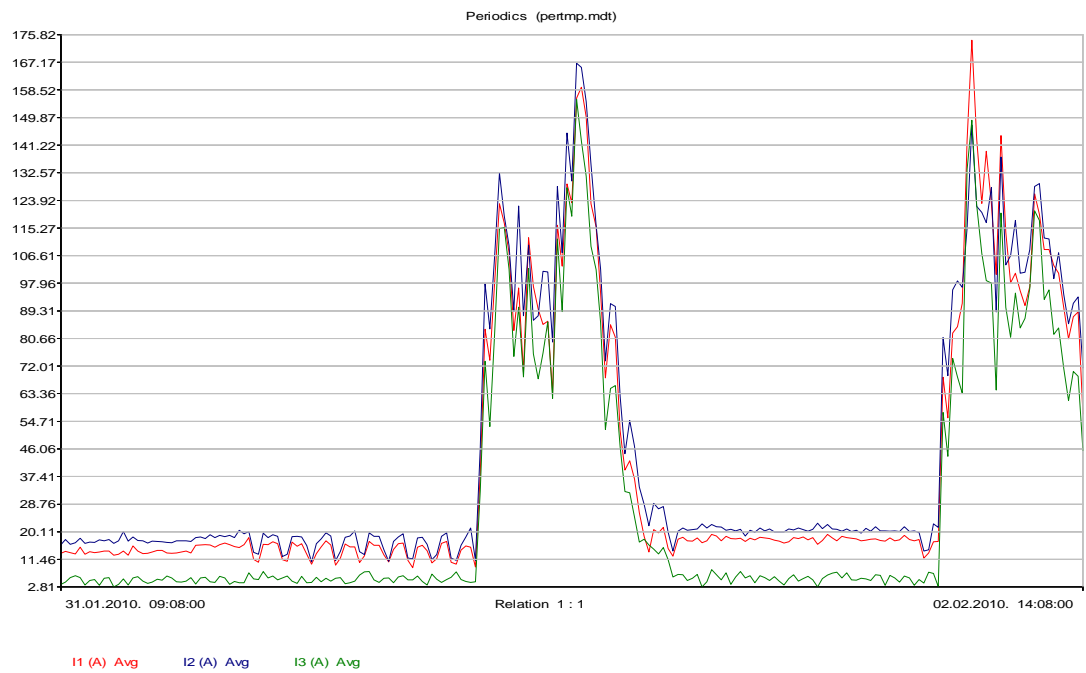


Kirjaston nollajohtimen virta.

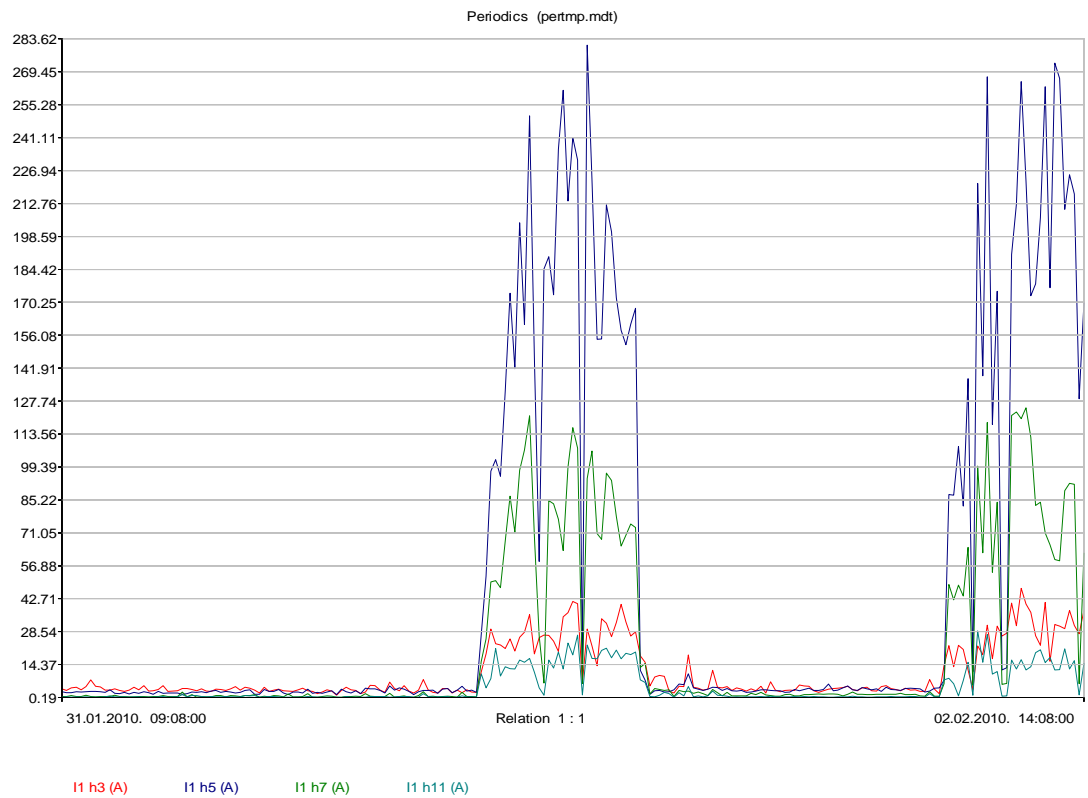


Liite 10

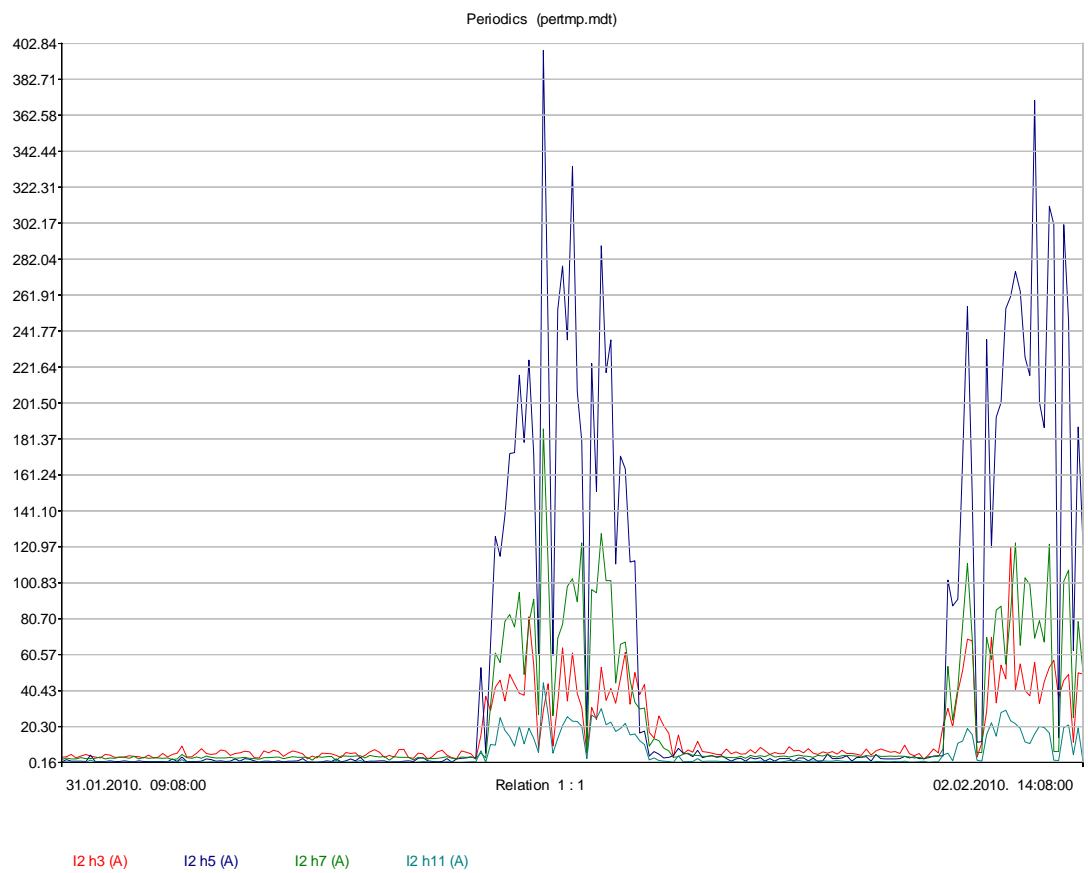
Ruokalan syötön virrat.



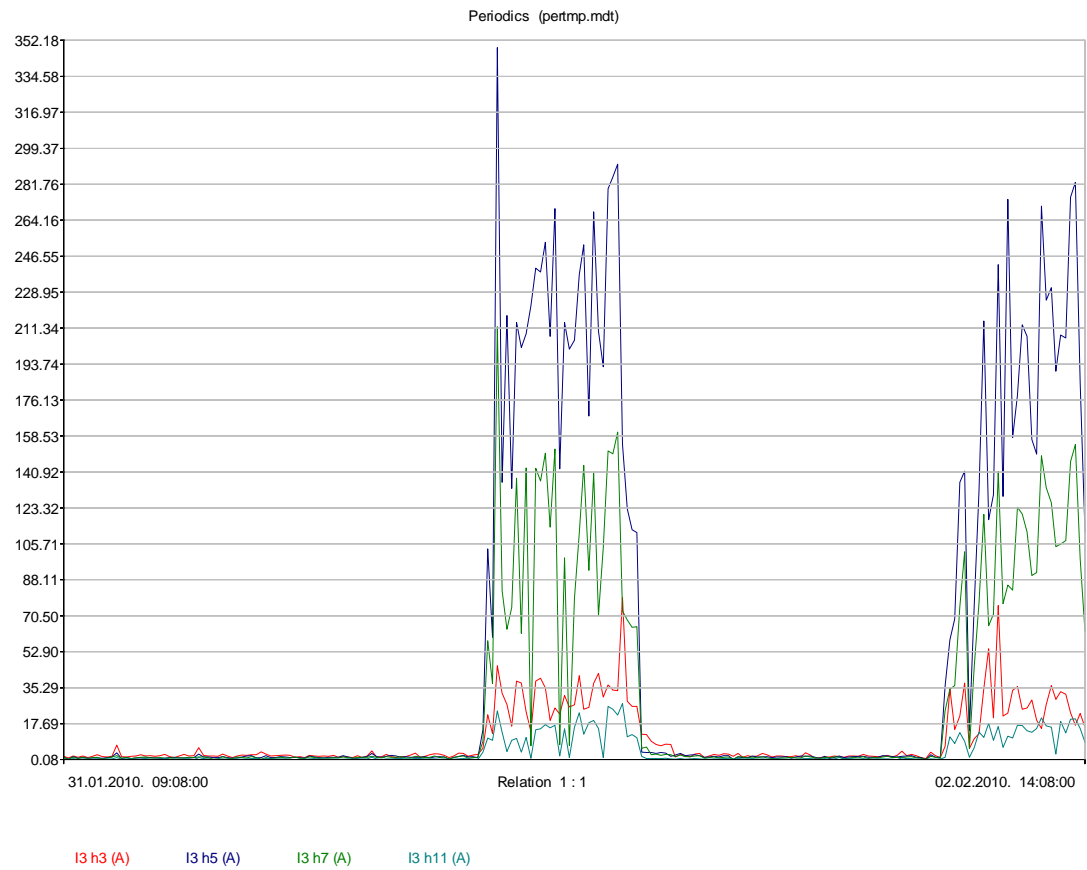
Ruokalan syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



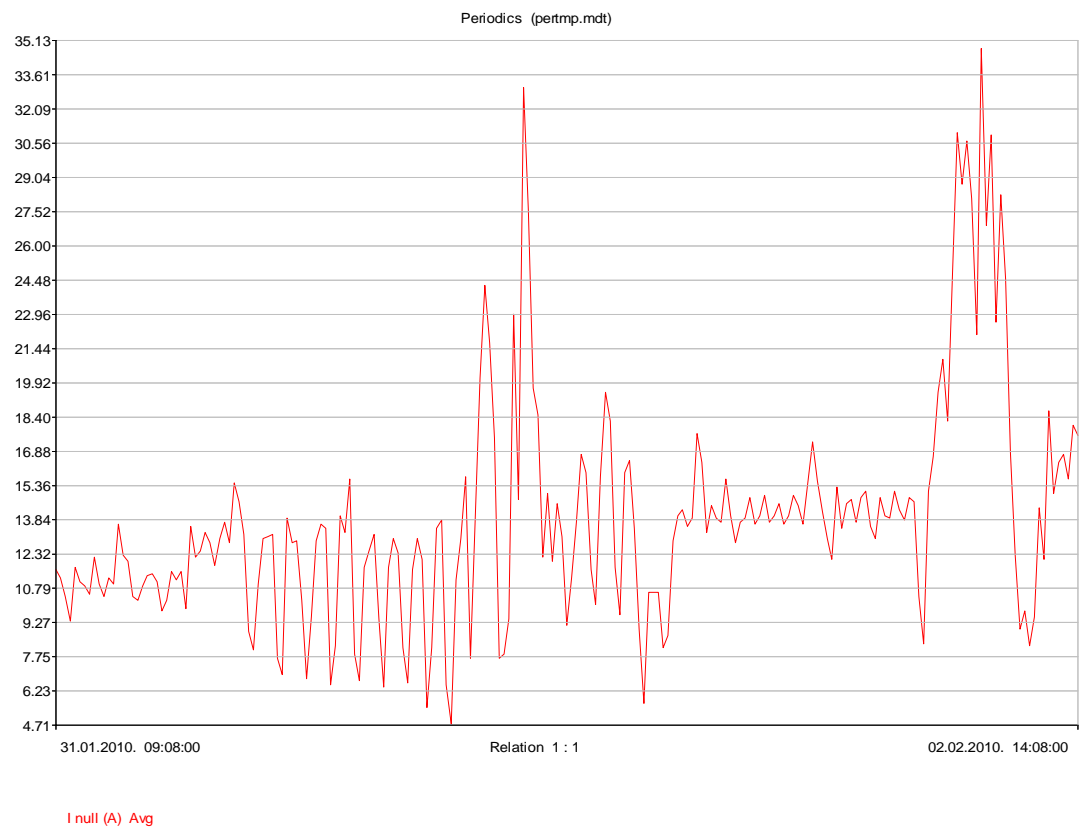
Ruokalan syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



Ruokalan syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.

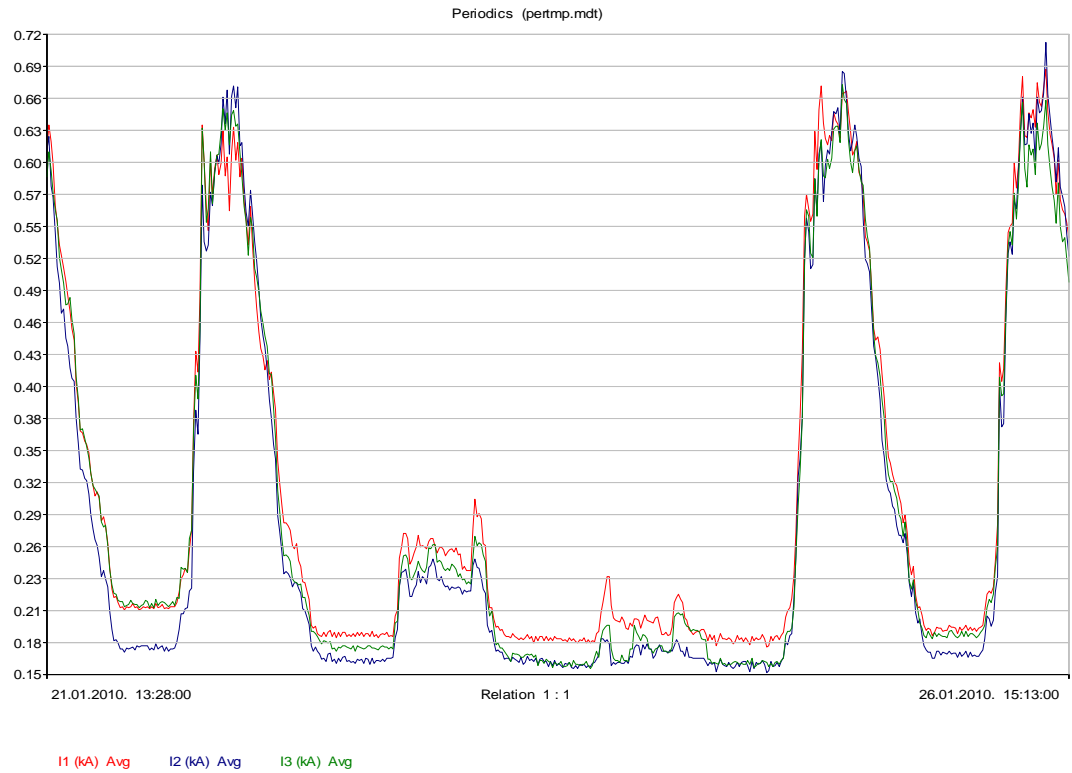


Ruokalan nollajohtimen virta.

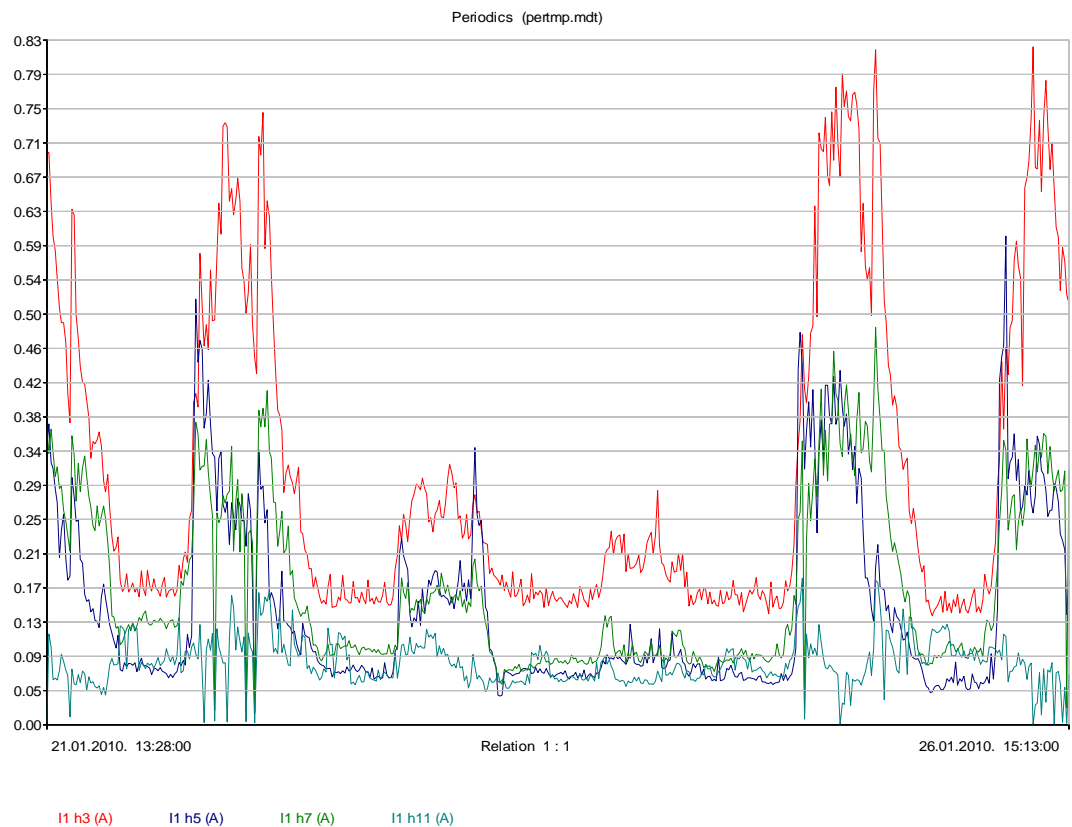


Liite 11

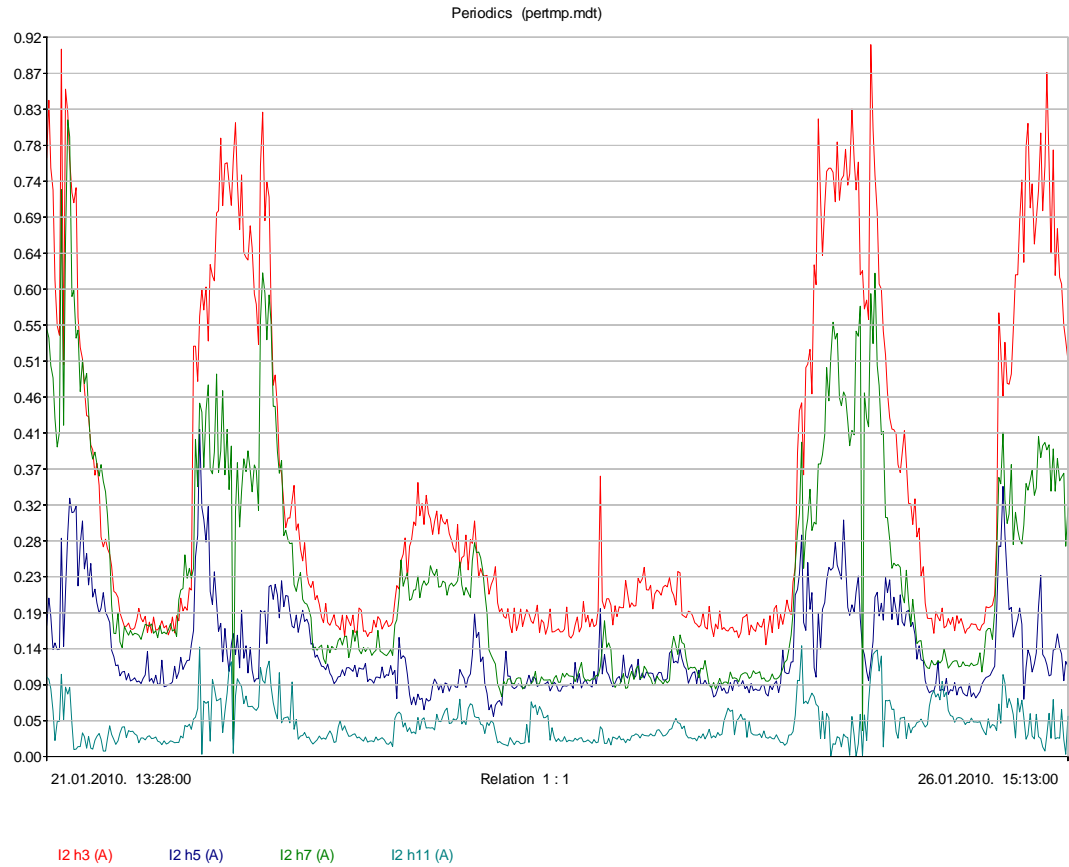
Sähköpääkeskuksen syötön virrat.



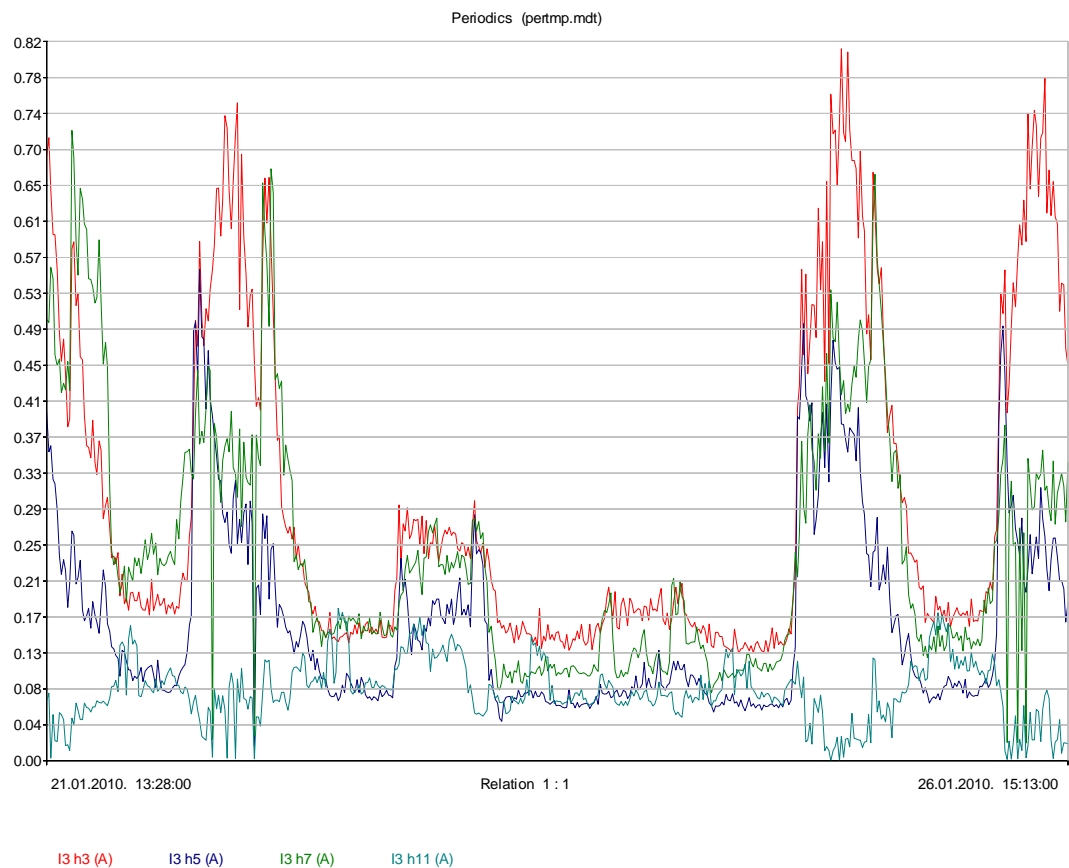
Sähköpääkeskuksen syötön 1. vaiheen yliaaltovirrat.



Sähköpääkeskuksen syötön 2. vaiheen yliaaltovirrat.



Sähköpääkeskuksen syötön 3. vaiheen yliaaltovirrat.



Sähköpääkeskuksen nollajohtimen virta.

